

CINQUIEME PARTIE :
SIMULATIONS DE POLITIQUES PUBLIQUES

Politiques publiques et dynamique des paysages : analyse de leurs rapports par un modèle multi-agents spatialisés¹

Résumé

Dans ce travail, nous développons un modèle des interactions entre activités humaines, principalement agricoles et forestières, et dynamique naturelle de la végétation, pour pouvoir analyser et évaluer l'impact des politiques publiques sur la dynamique des paysages. A partir d'un état de la végétation et de la population des hameaux, correspondant à ceux des années 1900, nous réalisons une série de simulations grâce à un modèle spatialisé de type alvéolaire. Des politiques publiques plus ou moins sélectives sur la population sont combinées avec des politiques publiques agissant sur les comportements de prélèvement de la biomasse par les troupeaux. Nous étudions successivement plusieurs scénarios caractérisés par leur impact global sur le prélèvement et par une mise en œuvre plus ou moins précoce dans le temps. Nous avons mis en évidence l'impact spécifique de l'agencement temporel de la mise en œuvre des politiques publiques sur la possibilité de maîtriser la dynamique du paysage par une des deux politiques. En l'occurrence, la mise en œuvre tardive d'une politique de lutte contre l'embroussaillage et la fermeture du paysage ne peut compenser l'impact de la diminution de la population entamée plusieurs décennies plus tôt, à cause des phénomènes écologiques de diffusion et de croissance des semenciers. Les réouvertures locales (et coûteuses) du paysage par les défrichements ne sont pas en mesure de ramener le paysage à un état antérieur. En l'absence d'une coordination paysagère à l'échelle de l'unité paysagère, le paysage correspondant au niveaux actuels de population et de pratiques agricoles et forestières est donc une mosaïque et correspond à un paysage peu original.

¹ R. Lifran, A. Hofstetter (UMR LAMETA) , P. Bommel (CIRAD GREEN)

Table des matières

CINQUIEME PARTIE :	0
SIMULATIONS DE POLITIQUES PUBLIQUES	0
Politiques publiques et dynamique des paysages :	110
analyse de leurs rapports par un modèle multi-agents spatialisés	110
Résumé	110
1. Introduction	112
2. Elaboration des faits stylisés	117
2.1 Cadre territorial et dynamique des usages	117
2.1.1 Le modèle auréoles/alvéoles	117
2.1.2 La structure spatiale du modèle	119
2.2 Des états de végétation aux états du paysage	121
3. Le modèle HTTPP	123
3.1 Méthodologie générale	123
3.2 Dynamiques	123
3.2.1 Dynamique de la végétation et du pâturage	123
3.2.2 Les éleveurs et leurs stratégies de pâturage	126
3.2.3 Dynamique de la population	131
3.3 Politiques Publiques : Approche historique et descriptive	133
4. Initialisation et paramétrage du modèle	138
4.1 Initialisation de l'espace	138
4.2 Initialisation des élevages et des types d'élevage	143
5. Simulations et Résultats	144
5.1 Approche générale de simulation	144
5.2 Simulations de référence	144
5.3 Résultats et interprétations	146
5.4 Résultats cartographiques	147
6. Conclusion	157
REFERENCES	159
SIXIEME PARTIE :	0
CONCLUSION GENERALE	0
1. Méthodes d'évaluation du paysage	161
2. Politiques publiques et paysages	163
Annexe 1. Publications réalisées dans le cadre du programme	165
ANNEXE 2	166
Déroulement du projet	166

1. Introduction

Parce que les transformations du paysage sont le reflet de celles qui affectent les rapports entre les sociétés et les milieux qu'elles exploitent, elles peuvent être pensées selon plusieurs paradigmes. Abordant la dynamique de paysages anthropisés, dominés par des écosystèmes cultivés, nous les concevons ici comme un système écologique et social (SES) au sens de Holling (Holling 2001). Plus précisément, le système écologique et social en question se rattache à la catégorie des parcours (Rangelands), analysés entre autres par Perrings et Walker ((Perrings 1997). Ce concept est voisin dans son essence de celui présenté par G. Bertrand (Bertrand 1999). A l'échelle historique, le Causse a connu des cycles de boisement et de déboisements, et des cycles de population (Marres 1935; Chassany 1989; Friedberg, Cohen et al. 2000; Lepart, Marty et al. 2000). Donc, la dynamique du SES peut comporter des phases de transition, plus ou moins longues, entre les états boisés et non boisés, associés à différents états de la population et de la société locale. Les paramètres qui agissent sur la vitesse des phases de transition sont nombreux, ils peuvent être endogènes (réseaux sociaux, comportements démographiques et économiques) ou exogènes (politiques publiques si tant est qu'on les considère comme exogènes).

La première question qui se pose alors est celle de la caractérisation des états du SES (du niveau le plus bas, parcelle ou individu, au niveau le plus agrégé, paysage ou population). Les parcelles, qui composent le paysage, comme les individus, qui composent la population, sont décrits à l'aide de diagramme des états, qui décrivent à la fois les états et les règles de transition entre ces états. Certains états peuvent constituer des attracteurs du SES. Par exemple, si on ne considère que le sous système "végétation", il y a des états d'équilibre instables, d'où la dynamique s'éloigne plus ou moins rapidement, pour arriver vers des états stables ou absorbants, comme l'état boisé (au niveau parcelles et au niveau du Causse), et des états stables, comme les terres labourables. Pour sortir d'un état boisé, au niveau parcelle, il faut dépenser des ressources, et encore plus au niveau du Causse, puisque ça dépend de la population, donc d'un grand nombre de décisions. Mais, autant il peut sembler assez facile de se mettre d'accord sur un diagramme des états au niveau d'une parcelle, autant la caractérisation de l'entité paysagère « Causse de Sauveterre » en terme d'état est plus délicate, puisque, aux deux états extrêmes du paysage (complètement dénudé ou complètement boisé), il y a toute une série d'états dépendant de la densité et de la position relative des parcelles dans un état donné (Milne 1996; Carpenter 2001). A fortiori en est-il de même pour la population et les réseaux sociaux (Young 1999).

Une telle analyse, pour générale et puissante qu'elle soit, laisse de côté les deux aspects importants qui caractérisent les paysages et leurs transformations : c'est d'une part leur historicité, qui peut être reliée au phénomène de « path-dependence », et d'autre part les interactions spatiales proprement dites (par exemple, diffusion du feu ou des semences), qui ne peuvent pas être décrites correctement dans les systèmes d'équations différentielles utilisées dans l'analyse de la résilience des écosystèmes, et qui nécessitent l'usage de dérivées aux équations partielles.

Le phénomène de « path-dependence » provient du fait que les sociétés qui interagissent avec et dans un écosystème donné ne sont jamais identiques au cours du cycle des transformations de l'écosystème. Même si l'on peut, comme le propose Peterson (Peterson, 2000), confronter les échelles de temps des transformations de l'écosystème et

celle de la société, il y a une différence essentielle entre les deux, c'est que les sociétés sont capables d'apprentissage, et d'innovation, techniques et institutionnelles.

Le phénomène des externalités de voisinage provient des interactions à distance qui affectent les objets du système (Lifran, 2000). De telles interactions modifient la dynamique locale, elles dépendent de l'organisation spatiale globale du système, c'est à dire de l'agencement de ses composantes dans l'espace (Parker 1999). Même si , pour une échelle donnée, il est possible d'agréger ces effets externes pour n'en retenir que le résultat (sous forme par exemple d'une croissance de la végétation de forme logistique), cela est plus difficile quand le système comporte plusieurs niveaux d'organisation (par exemple, ici, les trois niveaux (parcelles/lieu-dit/paysage)(Henkes 2002). L'intégration de ces trois niveaux dans le modèle induit des interactions complexes, susceptibles d'être modélisées par des systèmes d'équations aux dérivées partielles, difficiles à manipuler, mais plus commodes à modéliser par des simulateurs adaptés, comme les automates cellulaires ou les systèmes multi-agents (Lifran,2000).

A ce stade, on peut comprendre l'intérêt d'un concept élargi de résilience, proposé par Holling, qui considère l'ensemble des évolutions possible du système quand il est perturbé à un certain point de sa trajectoire, par une modification plus ou moins forte de ses paramètres ou de ses variables d'état. Dans notre cas, la perturbation peut être une épizootie, un incendie, une guerre qui vide la population, une sécheresse ou une crise de mévente prolongée. Cette perspective nous a permis de réaliser que nous avons jusqu'à présent focalisé notre réflexion sur la modélisation d'une phase de transition et de réorganisation entre deux états écologiques et sociaux, dont on peut dire que l'un était celui de la fin du 19^e siècle avec forte population et paysage ouvert (ou dualiste), et l'autre le paysage actuel, ou celui qu'on peut anticiper à partir du paysage actuel, caractérisé par une faible population répartie dans les hameaux, avec un paysage qui s'homogénéise par diffusion des boisements et plantations. Cette perspective nous a paru trop spécifique quand nous l'avons replacée dans le contexte de dynamique du système écologique et social du Causse, aussi avons nous cherché à modéliser un processus dans son ensemble, à partir de la situation de haute population et de faible végétation, correspondant à un paysage ouvert, typique du Causse au début du XX^e siècle. C'est bien dans cette perspective longue qu'il convient d'inscrire l'étude de l'impact des politiques publiques, si l'on veut englober à la fois les dynamiques longues, les variables retardées, et les processus d'adaptation à moyen terme.

Venons en maintenant, à la dynamique de la population : la population, observée au niveau des communes ou des gros hameaux suit une loi logistique décroissante: cela correspond à une sorte de transition démographique. Le rythme de la diminution n'est pas régulier, et traduit l'influence cumulative de plusieurs facteurs : crises sociales, comme les guerres, ou diffusion d'innovations qui affectent la productivité du travail (or, la diffusion de l'innovation obéit elle aussi à une loi logistique (Hägerstrand 1965). Nous faisons l'hypothèse que deux chocs sur la population ont été déterminants dans la transition:

- la guerre de 14-18, qui a déclenché la diminution de population renforcée par la première vague de modernisation agricole (batteuse-lieuse, tracteurs, engrais et amendements)

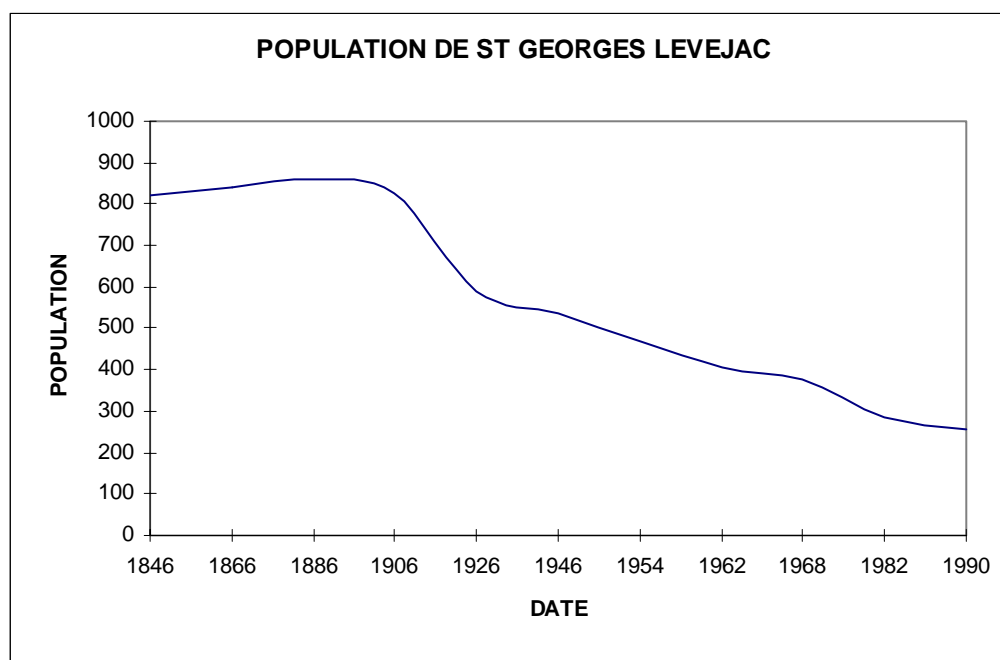
la deuxième vague de modernisation des années 60, renforcée par la politique gaulliste, et marquée par la diffusion de la traite mécanique et la gestion des mises bas.

Il y a sans aucun doute un lien entre des deux phénomènes de décroissance de la population et de diffusion des innovations, puisque le principal effet de la diffusion de l'innovation, c'est l'augmentation de la productivité du travail (rappelons que la taille moyenne des troupeaux est passée en 50 ans de 30 brebis laitières à 300). Si on prend deux innovations caractéristiques, comme le tracteur et la traite mécanique, leur apparition et leur diffusion sont décalées dans le temps, et leurs effets sur la population sont plus ou moins retardés à cause de

la résistance à la mobilité des familles agricoles (un délais d'ajustement de 20 à 25 ans semble une bonne moyenne).

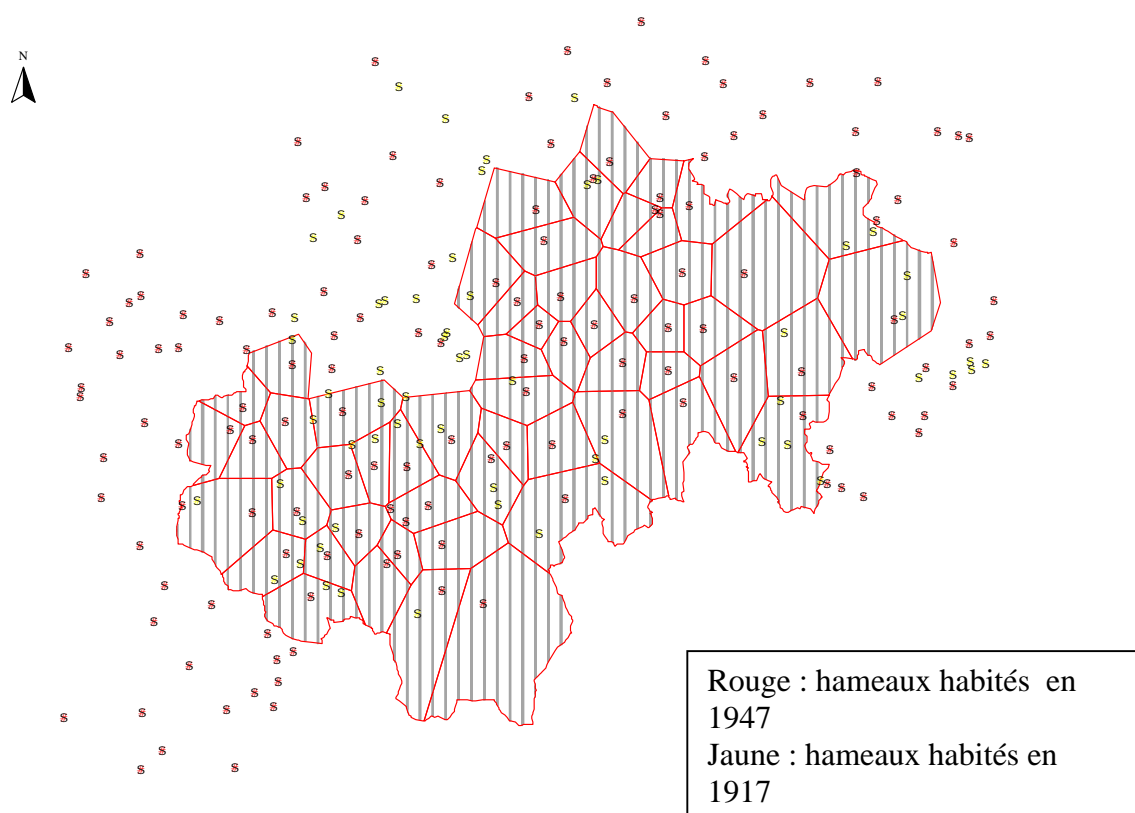
L'allure de la dynamique de la population globale au niveau du Causse provient de l'agrégation des dynamiques de population au niveau de chaque hameaux du Causse. Sous cet angle, un rapide coup d'œil à la carte des dynamiques des lieux-dits montre que les lieux-dits abandonnés entre le début de la transition et sa fin ne sont pas répartis aléatoirement sans l'espace. La partie occidentale du Causse présente un nombre de hameaux abandonnés plus importants que dans la zone centrale et orientale ². Cette observation sur une dynamique différentielle d'occupation de l'espace recoupe assez étonnamment celle de la dynamique de végétation, et conforte donc l'hypothèse d'une relation directe entre dynamique de population et dynamique du paysage, à travers les prélèvements de biomasse effectués pour les besoins domestiques, d'une part, et l'abandon des territoires par les troupeaux. Mais entre l'abandon d'un lieu-dit par les troupeaux et son passage aux bois, il y a un délais plus ou moins important. Les effets de la dynamique de population sur le paysage ne sont pas immédiatement perceptibles, notamment parce que la diffusion de la végétation obéit elle-même à un phénomène de percolation, et qu'au delà d'un certain seuil, le processus est irréversible (Milne 1996). C'est pourquoi il est difficile d'apprécier les effets de la politique de modernisation agricole, lancée dans les années soixante, sur la dynamique du paysage du Causse. En effet, celle-ci est vraisemblablement intervenue à un moment où le seuil de percolation de la broussailles et des boisements dans le paysage était déjà dépassé. La politique agricole a bien alors joué sur la dynamique de population et sur la diffusion des innovations, mais n'a certainement fait qu'accélérer un processus de transformation du paysage qui était déjà largement entamé bien avant, c'est à dire au début du siècle.

Graphique 1. Dynamique de population (Commune de Saint Georges Lévèjac)



² Grâce aux données de l'INSEE, fournies par le DDA de Lozère, nous avons pu retracer la population des hameaux au début du siècle.

Carte 1. Dynamique des lieux-dits 1917-1947



Note : Les hameaux représentés en rouge sont ceux qui ont servi à calculer les polygones de Thiessen, délimitant les territoires attachés à chaque hameau.

La question qui se pose maintenant est celle de la résilience d'un tel SES: quels sont les facteurs qui peuvent faire revenir le système à un état d'équilibre, et quel est cet état d'équilibre? comment associera-t-il la population et les boisements? Peut-on imaginer un retour de la population à son niveau des années 1900? Certainement non, car la particularité des SES, c'est précisément leur historicité, qui découle d'une irréversibilité des processus techniques et humains. C'est ce qui justifie que nous portions une attention particulière à la phase de

transition plutôt qu'à la phase d'équilibre. D'autant plus que c'est dans les phases de transition que les politiques publiques peuvent être efficaces, et même déterminantes, pour orienter le système dans une voie ou dans une autre. Sur la base de cette analyse, nous pouvons aussi mieux comprendre l'intérêt de définir des scénarii de politiques publiques assez contrastés, et non de s'en tenir à des décalques des politiques qui ont accompagné la transition du système et l'ont orienté dans une voie particulière. Dans cette perspective, il est aussi utile de noter que la politique suivie en Lozère de "sélectivité modulée" n'a pas remis en cause le principe de l'interdiction du temps partiel, et qu'elle ne pouvait donc pas vraiment atteindre les objectifs de population qu'elle avait affichés. Pour cela, il aurait fallu développer une politique de type "alpin" ou "germanique", c'est à dire n'ayant pas ciblé un type spécifique d'exploitations agricoles.

Afin de présenter notre démarche de recherche, nous allons procéder comme suit :

en 2, nous présenterons les faits stylisés retenus à partir des analyses réalisées dans la deuxième partie, et notamment, nous justifierons les choix de modélisation de l'organisation sociale et spatiale de la modélisation.

En 3, nous décrirons plus précisément le modèle HTPP (pour Habitants, Territoires et Politiques Publiques).

En 4, nous préciserons les techniques d'initialisation et les paramétrages utilisés.

En 5, nous présenterons l'organisation générale des simulations

Enfin, avant de conclure, nous présenterons les résultats provisoires obtenus.

2. Elaboration des faits stylisés

Sur la base des données élaborées dans le cours du projet, et présentées dans la partie II., nous pouvons dégager les faits stylisés les plus importants pour la modélisation. Les premiers portent sur l'organisation spatiale et les structures paysagères, les seconds sur la dynamique de la végétation et du paysage.

2.1 *Cadre territorial et dynamique des usages*

2.1.1 Le modèle auréoles/alvéoles

Comme dans beaucoup de régions à forte densité de peuplement, l'espace du Causse est organisé depuis des siècles autour des hameaux habités (Brun 1979). Ceux-ci constituent des centres organisateurs des activités et de structuration de l'espace avoisinant. Dans le cas des grands causses lozériens, les contraintes d'affouragement, d'alimentation en eau et de la traite des troupeaux donnent à la notion de territoire un contenu fonctionnel fort: les bergeries sont bâties dans le hameau, les troupeaux exploitent des ressources situées dans un rayon limité (au maximum 2- 3 km) autour des bergeries. Ces ressources sont aussi constituées de terres collectives qui sont, depuis l'époque féodale, la propriété indivise des habitants de ces hameaux.

En combinant l'analyse par la structure de la propriété et celle par usages du sol, nous pouvons proposer un modèle de l'organisation spatiale du Causse, qui servira de cadre à la dynamique du paysage. Le modèle spatial s'organise autour des lieux-dits. Le chorème de base des lieux-dits est un modèle de type auréolaire, centré autour du hameau. Il est décliné selon les spécificités du hameau, de son histoire et de ses contraintes agro-pédo-climatiques particulières (Henkes 2002).

Ainsi, le hameau du Gauziné est-il aujourd'hui entièrement dominé par la forêt, alors que le hameau de Soulages reste organisé par les activités agricoles, même si les boisements y sont importants (Figure 1). Le hameau de Sauveterre est quand à lui organisé selon le même schéma auréolaire, mais les terres labourables sont ici plus éloignées du hameau qu'à Soulages, alors que les pelouses et parcours se situent près du centre (Figure 2). Cette différence est sans doute explicable par des conditions agro-pédo-climatiques différentes, mais les pratiques de gestion du troupeau doivent aussi y jouer un grand rôle, comme nous le verrons dans la troisième partie.

Figure 1: Modèle du lieu-dit Soulages et paysage correspondant

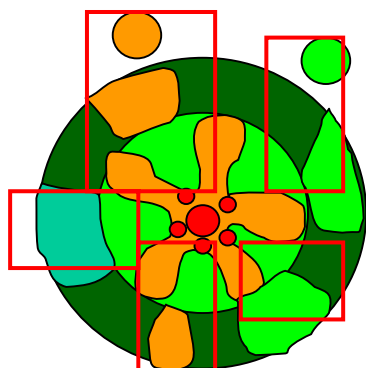
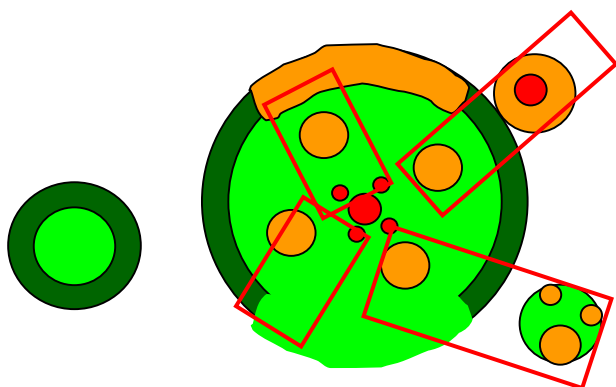


Figure 2: Modèle du lieu-dit Sauveterre et paysage correspondant



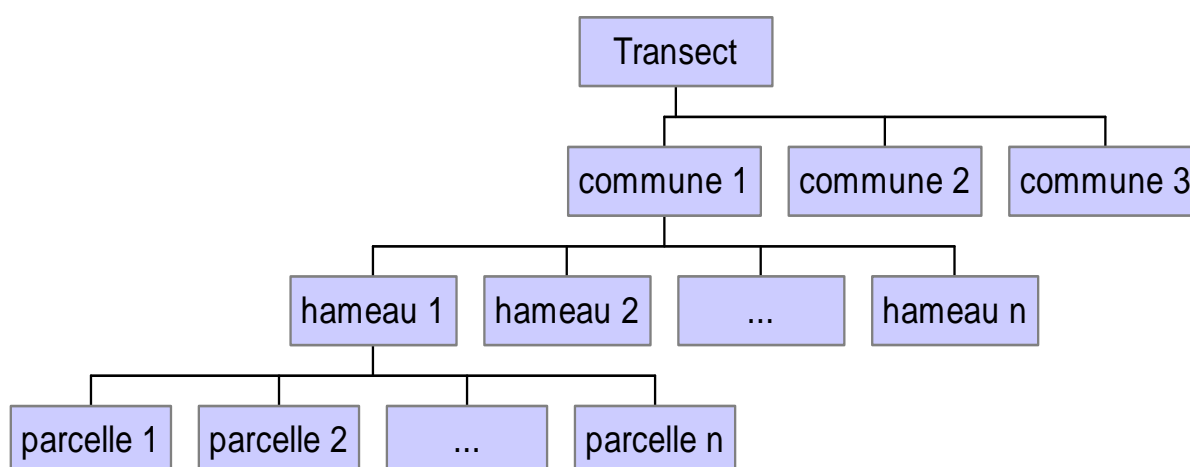
Le modèle d'organisation spatiale qui sous-tend la dynamique du paysage comporte donc trois niveaux principaux : celui des parcelles, celui des lieux-dits, et celui du Causse dans son ensemble. Au niveau du lieu-dit, c'est un mode auréolaire d'organisation de l'espace qui prédomine, alors que c'est une organisation alvéolaire qui caractérise l'organisation du paysage au niveau du Causse dans son ensemble, chaque lieu-dit ayant son organisation propre, et ne débordant que rarement sur ses voisins. Cette combinaison d'un mode auréolaire et d'un mode alvéolaire constitue un fait stylisé important pour nous aider à concevoir et modéliser la dynamique du paysage.

2.1.2 La structure spatiale du modèle

Les usages de l'espace s'inscrivent dans le cadre de droits de propriété définis entre autres par le Cadastre. Le cadastre est un système d'information qui associe des plans d'un ensemble de parcelles et la liste de propriétaires de ces parcelles. En ce sens, il constitue l'archétype d'un système d'information géographique. A l'échelle de temps utilisée (de 50 à 100 ans), nous considérerons que le cadastre reste un cadre suffisamment stable, pour permettre de décrire la dynamique des usages et des états (Chouquer 2000). Le modèle relationnel élaboré pour la base de données des lieux-dits sera réinvesti dans ce contexte de modélisation.

L'espace est donc organisé en différents niveaux :
celui des parcelles cadastrales,
celui des lieux dits
celui des communes
celui l'unité paysagère dans son ensemble (ici, le Causse).

Figure 3 : Modèle d'agrégation des territoires



Les parcelles sont définies par des liens de propriété, d'usagers et d'usages. Une catégorie particulière de parcelles est définie : les parcelles en propriété indivise des habitants d'un lieu-dit. Historiquement et juridiquement liée à l'unité de résidence, cette forme de propriété collective définit en retour le lieu-dit : unité de résidence d'une population, exploitant un territoire privé et un territoire collectif qui lui est attribué en tant que groupe social local. L'usage de ces parcelles définit une interaction sociale locale, et dans le cours du temps, va poser un problème d'aménagement, et donc d'impact sur le paysage. Les parcelles sont caractérisées par des états et des méthodes de changement d'état. Il existe deux niveaux d'états concurrents : celui du statut juridique de l'usage : usage direct par le propriétaire, ou usage délégué à un preneur (³), et celui de l'usage lui-même. La dynamique des " usages "

³ Dans le cas des parcelles sectionales, il en est de même.

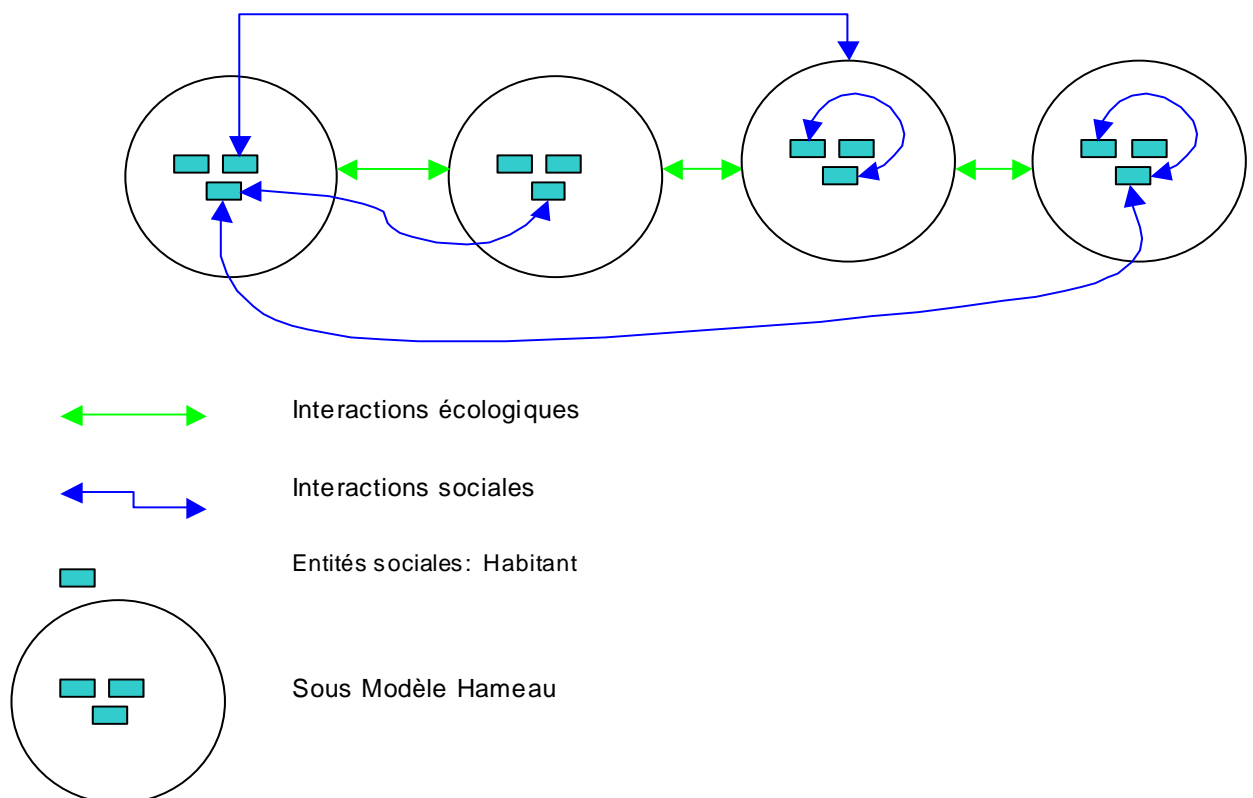
sera décrite par un diagramme de changement d'états. Les états retenus seront pertinents pour l'analyse du modèle d'élevage ainsi qu'avec les usages non agricoles référencés.

Le Causse est divisé en lieux-dits ponctuels, auxquels sont rattachés une population et des troupeaux, qui utilisent les parcelles environnantes dans le cadre de contraintes spécifiques, définies par le système d'élevage et le milieu. Les limites des lieux-dits seront ici définies de manière exogène, en utilisant comme point de départ la méthode des polygones de Thiessen (Beisson 2000).

La configuration spatiale initiale du modèle restera identique au cours des simulations. La justification du choix des lieux-dits comme cadre stable d'interactions locales provient à la fois de données juridiques, soumettant l'usage des terrains collectifs à un critère de résidence dans le lieu-dit, et de considérations liées au système d'élevage (points d'eau, traite bi-quotidienne, vitesse de déplacement du troupeau). Ainsi le modèle reprend la structure spatiale mise en évidence dans la deuxième partie, avec une structure auréolaire dans chaque lieu-dit, et une structure alvéolaire du paysage dans son ensemble. Pour autant, il n'est pas possible de réduire la dynamique d'ensemble à une agrégation de sous-modèles identiques, différents simplement par les conditions initiales. En effet, trois types d'interactions relient les « alvéoles » ou sous-modèles, entre eux : les effets de diffusion de la végétation, la dynamique d'émigration différentielle, les effets de réseau, et de diffusion de l'innovation,

Le modèle HTPP apparaît au total comme un agrégat de sous modèles correspondants à chaque hameau, et relativement indépendants, reliés entre eux par des interactions aux frontières (à travers la diffusion de végétation) et par des réseaux sociaux.

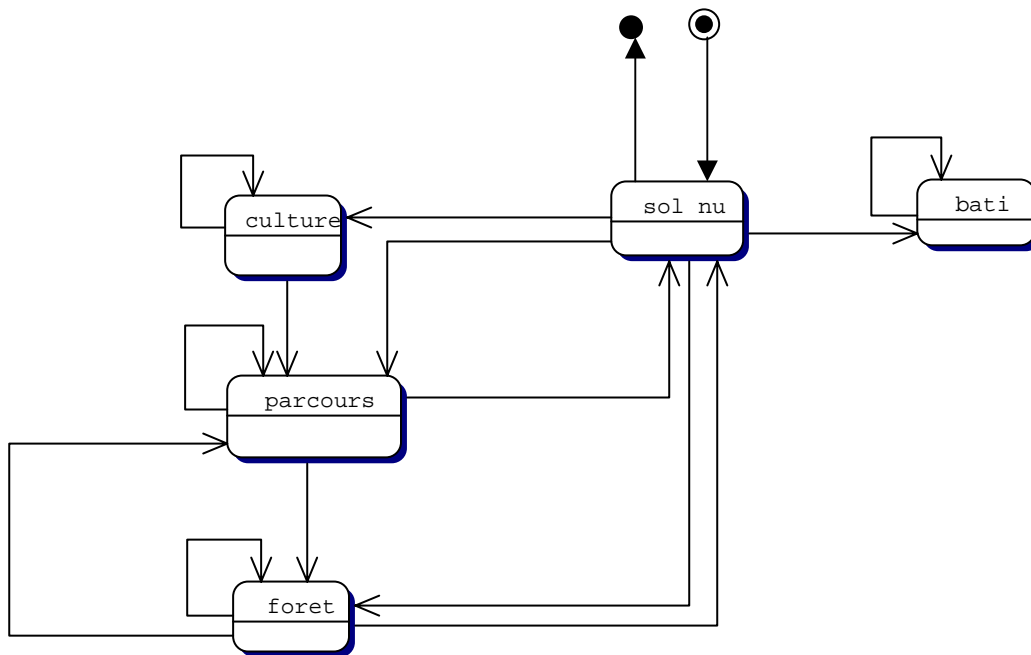
Figure 4. Structure générale du modèle HTPP



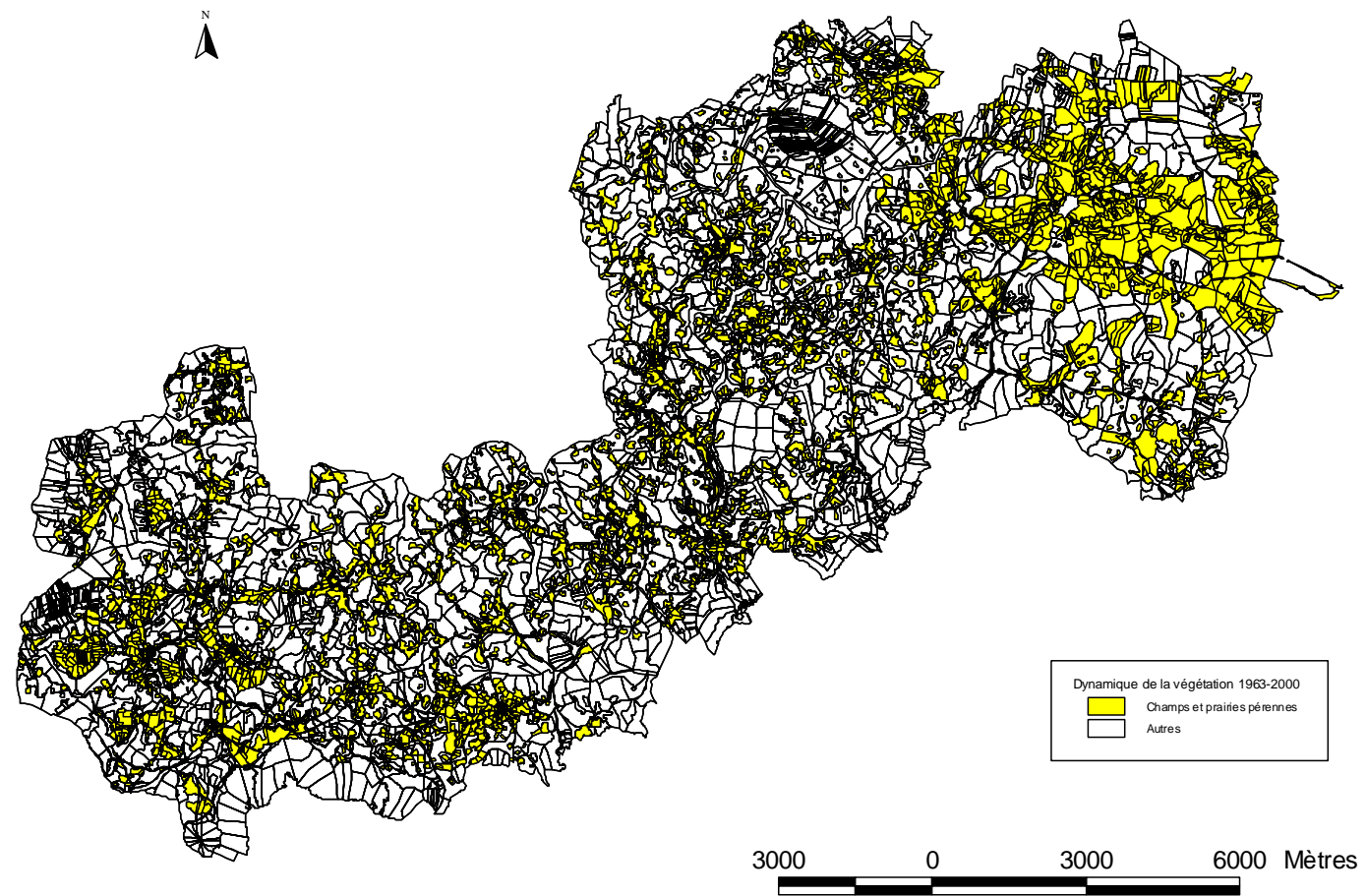
2.2 Des états de végétation aux états du paysage

A partir de la base de données sur la dynamique de végétation, nous avons identifié un fait stylisé important : au cours des 40 dernières années, les parcelles en terres labourables sont restées très stables, au niveau individuel, et constituent un état stable du paysage. L'explication de cette stabilité est simple : les terres labourables sont rares, et jouent un rôle important dans la vie pastorale : produisant des vivres pour les hommes dans un contexte d'économie autarcique, elles produisent aujourd'hui des stocks d'aliments pour la période d'allaitement en bergerie. Les bois et forêts constituent, à l'opposé, un état changeant du paysage, en constante progression au cours de la période d'étude, sous l'effet des boisements naturels ou artificiels. Il en est de même des landes et parcours, qui constituent un état instable du paysage, constituant une transition vers les boisements. Le paysage est donc marqué par la dualité champs/bois, avec une phase instable constituée par les landes et parcours.

Figure 5 . Diagramme des états d'une parcelle



Carte 2 : Terres labourables et pelouses (1963-2000)



3. Le modèle HTPP

3.1 *Méthodologie générale*

Sur la base de l'organisation décrite ci-dessus, nous allons maintenant décrire en détails la structure du modèle et les choix de modélisation. Le besoin d'un instrument de modélisation adapté aux manipulations d'objets virtuels représentant les objets spatiaux tels que des parcelles, des limites, des voies de circulation, etc...et d'appliquer des calculs spécifiques à ces objets nous oriente vers un modèle multi-agents. Au cours des dernières années, la diffusion des méthodes de programmation orientées « Objet », ainsi que celle des systèmes d'information géographiques, les progrès récents dans le domaine des systèmes dits « multi-agents », et finalement, le couplage entre ces deux derniers instruments de modélisation, quoique encore à ses débuts, permettent d'envisager de nouvelles voies de modélisation spatiale (Gimblett, Lepage...). Cependant, la puissance des nouveaux instruments ne doit pas masquer la difficulté de l'entreprise, et de nombreuses tentatives ont dû rabattre leurs ambitions devant la complexité algorithmique des modèles les plus simples, et la difficulté subséquente d'en évaluer les résultats.

3.2 *Dynamiques*

3.2.1 *Dynamique de la végétation et du pâturage*

La dynamique des états des parcelles est décrite par le diagramme des changements d'état ci-dessus. En fait, l'état d'une parcelle est caractérisé par une variable continue : la biomasse. Celle-ci évolue sous le contrôle des éleveurs ou des propriétaires, qui décident d'appliquer ou non à leurs parcelles des décisions d'utilisation par une culture et/ou de changement d'état (défriche, plantation, construction...). A l'intérieur d'un état donné, la biomasse évolue selon les techniques appliquées ou selon le mode de pâturage. Dans l'état « Parcours », la biomasse évolue selon trois facteurs : la croissance naturelle, de type logistique et dépendant du substrat, le flux de biomasse en provenance des parcelles voisines, traduisant la diffusion des graines, le prélèvement par le pâturage et enfin le prélèvement de bois pour les besoins domestiques. Au-delà d'un seuil donné de la biomasse, on considère que la parcelle change d'état (par exemple, elle passe de l'état « Parcours » à l'état « Bois »). De la même façon, le propriétaire peut décider de planter de la forêt sur une parcelle, dans ce cas, la biomasse va être portée à un niveau initial, correspondant à l'âge et à la densité des jeunes plants, et va ensuite évoluer selon une loi de croissance logistique.

Dans des travaux précédents, nous avons modélisé un tel processus dans la cadre d'une grille régulière, et montré que la dynamique spontanée de la biomasse à l'échelle de la grille obéissait également à une loi logistique (Bommel 2000; Lardon 2000; Lifran 2000). Nous avons donc modifié le modèle de diffusion utilisé dans FORPAST pour l'adapter au contexte de modélisation spatiale que nous avons retenu dans cette recherche (constitué par le cadastre), qui nous oblige à adapter la formalisation de la dynamique de végétation pour tenir compte notamment de la disparité des tailles des parcelles. De plus, les observations sur le terrain et d'après les cartographies nous incitent à tenir compte de la nature du substrat (dolomie ou calcaires en plaquettes), plus ou moins favorable à l'implantation des jeunes plantules.

Pour tenir compte de la disparité des tailles des parcelles, nous devons adopter une formulation de la dynamique de biomasse à l'unité de surface. Nous définissons un indice de biomasse par unité de surface (à l'hectare), soit x , et un indice à l'échelle de la parcelle, soit

$$X_t = a \cdot x_t$$

(a étant la superficie).

Comme dans le modèle FORPAST, nous retenons un modèle à seuil, dans lequel, quand une parcelle atteint un seuil de biomasse donné, corrélé avec la maturité sexuelle des individus, elle commence à diffuser des semences sur les parcelles voisines. Symétriquement, une parcelle reçoit un flux de semences en provenance de ses voisines boisées (ayant dépassé le seuil ci-dessus) qui est proportionnel à la longueur de leur bordure commune, l (ce calcul est effectué dans le SIG, puis importé dans le SMA). Ce flux vient s'ajouter à la croissance naturelle de biomasse de la parcelle.

Si la parcelle est pâturée, il y a prélèvement de biomasse proportionnellement à la charge en bétail c , et à la durée de pâturage, choisie par l'éleveur, conformément à ses choix de conduite de l'alimentation du troupeau. Comme on ne peut prélever plus que la biomasse disponible, on a finalement la dynamique suivante de la végétation :

$$x_{t+1} = y_t - p_t$$

avec :

$$y_t = (x_t + s_x) + d_s l_t$$

s représente la croissance sur place, et dépend de x , d représente le flux lié à la diffusion, et dépend du substrat de la parcelle (il prend deux valeurs, car nous n'avons retenu que deux zones correspondants à un substrat de type dolomie et à un autre de type calcaires en plaquettes), et de l , le taux de boisement moyen des parcelles voisines.

La croissance sur place est de type logistique :

$$s_x = rx(1 - \frac{x}{30})$$

Le prélèvement dépend du taux $p(\theta, x)$ qui dépend du type de l'éleveur, θ , et de l'état d'embroussaillage de la parcelle, x . Il s'effectue aussi sur l'apport de biomasse par la diffusion, ce qui se justifie par le fait que la pâturage peut en effet contre-carrer la diffusion en prélevant les jeunes issus de semis. Il s'applique seulement sur la partie de la biomasse qui est accessible au prélèvement par les brebis, partie qui décroît la croissance de la biomasse totale sur la parcelle :

$$p_t = p(\theta)(y_t + x_t(1 - 1/e^{0.002}))$$

Ce modèle est bien entendu extrêmement schématique, mais il tient compte des principales interactions qui nous intéressent : une externalité de voisinage, qui traduit le processus de diffusion de la végétation d'une parcelle à l'autre, d'une part, et l'impact des stratégies d'utilisation des parcours, d'autre part.

La question originale dans le contexte de notre recherche est celle posée par la dynamique de la végétation sur les parcelles collectives. Si la partie liée à la dynamique naturelle ne pose pas de problème spécifique, il n'en est pas de même pour le prélèvement opéré par le pâturage collectif, qui est le résultat de l'utilisation par plusieurs éleveurs, définie

par des règles collectives plus ou moins contraignantes. Nous proposons de tester deux variantes :

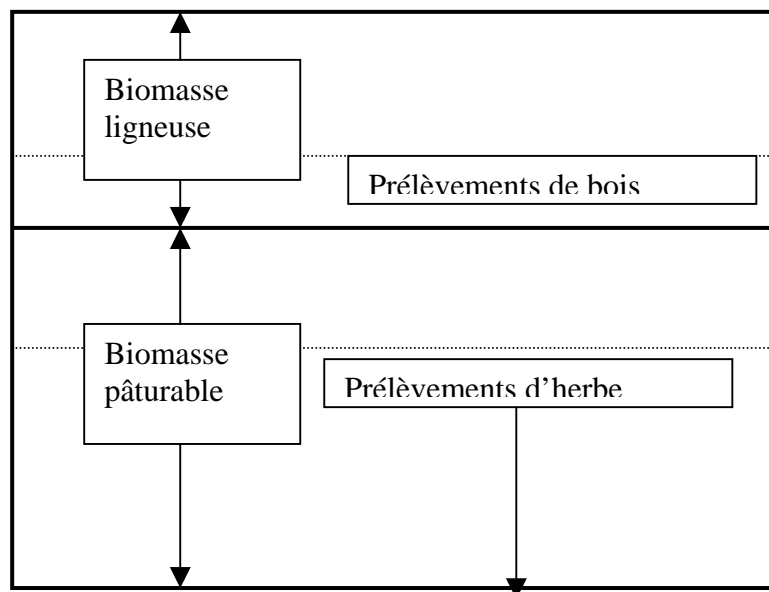
Dans la première, on considère que les parcelles collectives constituent un complément mobilisé par l'éleveur pour ajuster son bilan fourrager, et dans ce cas, ce sont les exploitations les moins bien dotées en ressources fourragères qui vont utiliser le plus ces parcelles, en prélevant le plus possible de biomasse. Cela revient à calculer un taux qui soit la moyenne des taux individuels, pondérés par l'inverse de la surface en terres labourables :

Dans la seconde, on calcule un taux de prélèvement, qui représente les règles collectives d'utilisation. Ce taux, spécifique pour toutes les parcelles collectives d'un même lieu-dit, dépendra des conditions propres à ce lieu-dit. Ce qui revient à considérer ces parcelles comme étant utilisées par un seul éleveur de type défini. La question à résoudre étant : comment définir le taux ? La solution la plus naturelle est de le calculer comme la moyenne des taux individuels pondérés par la dimension des troupeaux.

Impact de la population sur la ressource en bois

Chaque habitant est un consommateur de bois pour les usages domestiques. Il sera autorisé à couper du bois sur ses parcelles privées et sur les parcelles collectives. Le prélèvement de bois se fait sur la biomasse non accessible aux animaux et il est réparti uniformément sur les parcelles les plus « embroussaillées » et sur les parcelles collectives.

Figure 6 : Décomposition de la biomasse selon la nature et taux de prélèvements correspondants



Plantations et défriches

Les propriétaires fonciers peuvent décider de planter leurs parcelles, avec ou sans aides de l'Etat. Ils peuvent de même décider de défricher des bois ou des parcours embroussaillés, pour les remettre dans le circuit pastoral sous une forme plus productive.

Au total, la dynamique du paysage est conditionnée par deux grands types de décision :

- *choix du taux de prélèvement sur le parcours, qui relève de la stratégie des gestion du troupeau et des ressources fourragères,*
- *choix de gestion des boisements : absence d'intervention, plantation ou défriche et par l'intensité des besoins domestiques en bois du ménage (qui est ici un paramètre exogène).*

Ce sont ces deux décisions de gestion des parcours et de gestion des boisements qui se situent à l'interface du modèle écologique et du modèle économique et social. En effet, nous partons du constat que le troupeau global du Causse est stable ou en légère croissance sur longue période. Ce n'est donc pas la variation du troupeau qui peut expliquer la dynamique du prélèvement de biomasse, mais bien les modifications de son alimentation, sous l'effet des mesures de politique agricole.

3.2.2 Les éleveurs et leurs stratégies de pâturage

Nous considérerons que les éleveurs se répartissent entre plusieurs types économiques, caractérisés par des dotations différentes en travail, terres et capital, et que ces types économiques sont en interaction constante avec le choix des technologies de production (et notamment du choix des modes de conduite et d'alimentation du troupeau).

Pour éviter de rajouter une trop grande complexité à un modèle déjà complexe, nous avons choisi de modéliser les techniques d'élevage en utilisant la typologie élaborée par P.L. Osty et S. Lardon. Cette typologie est issue d'enquêtes sur le Causse Méjan et sur le Causse de Sauveterre. Elle a été utilisée pour l'analyse des stratégies spatiales de gestion des élevages. L'intérêt d'une telle typologie synthétique, c'est qu'elle ramène la grande diversité des élevages à un petit nombre de types (5 ou 6) qui ont des caractéristiques communes, en termes de structure, de comportements et de résultats. Les enquêtes ont montré que les exploitations peuvent changer de type, pour s'adapter à des conditions économiques ou démographiques changeantes, ou pour améliorer les résultats. Mais, compte tenu de la complexité des processus sous-jacents au changement de type, qui impliquent soit des investissements soit des acquisitions de connaissances et de capacités nouvelles, les changements de type ne se font que lentement. Ce sont ces changements de type, synthèse d'un processus d'innovation plus complexe, qui vont être déclenchés par le processus d'évaluation et diffusion dans le tissu agricole. Pour tenir compte de l'inertie des changements, nous considérerons que la décision de changement peut être prise à chaque pas de temps, mais que sa mise en œuvre ne deviendra effective qu'au bout de 5 périodes.

3.2.2.1 Spécification de l'innovation : les modèles technico-économiques

Il est nécessaire de préciser comment nous traitons l'innovation. En effet, différents degrés de finesse (la granulométrie du modèle) peuvent être retenus, et la décision finale dépend du but poursuivi et de la complexité globale du modèle. Le cœur du problème se

trouve dans le rapport entre innovation et modèle technique. Le modèle technique peut être considéré comme un stock de pratiques cohérentes (agronomiques, d'élevage, de gestion forestière...) qui évolue par incorporation de nouvelles pratiques. En effet, la production de lait de brebis a connu, au cours de la seconde moitié du XX^e siècle, d'importantes transformations économiques et techniques (FLAMMANT, LABOUESSE, BARDINI, 1991). Elles ont porté sur la mécanisation de la traite, l'amélioration des performances génétiques, la gestion de la reproduction, les modes d'alimentation, et, au plan économique, sur le passage à une administration du marché par un système de droits à produire (références laitières). Ces transformations ont constitué un ensemble cohérent au point que l'on a pu parler de "modèle". L'augmentation considérable de la productivité du travail a induit l'accroissement de la taille moyenne des troupeaux, et la concentration du troupeau dans un nombre réduit d'élevages.

Les stratégies individuelles d'adaptation sont notamment différenciées par le recours variable, mais en moyenne beaucoup plus faible que par le passé, aux ressources fourragères cueillies par les animaux (conduits par un berger ou au parc). La combinaison des deux mouvements (diminution du nombre d'élevage et réduction du recours au parcours) a conduit à une modification profonde de la géographie de la production, et à des modifications environnementales sensibles. Au plan régional, la production de lait de brebis pour Roquefort s'est concentrée dans les zones agricoles de l'Aveyron, mieux placée pour la production d'une alimentation riche en UF, pendant que les élevages des grands causses se voyaient assigner la production de diversification (fetta, etc..). Dans les zones traditionnelles de parcours, la modification des pratiques d'alimentation a induit un phénomène cumulatif d'embroussaillage, objet de préoccupations pour les gestionnaires de l'espace. Le modèle technique dominant a donc des effets externes, qui, sans être négatifs, sont néanmoins à prendre en compte dans une évaluation globale. C'est à ce dernier aspect que nous consacrerons principalement notre effort de modélisation

Les principaux éléments du modèle technique moderne (par opposition au modèle avec traite manuelle qui prévalait avant les années 70) en élevage ovin lait sont les suivants:

- **la mécanisation de la traite**, qui permet un bond dans la productivité du travail (de 20 brebis /heure à 200 brebis/heure)

- **la modification de la conduite du troupeau** : le sevrage précoce des agneaux, le groupage des chaleurs par la pose d'éponges, l'insémination artificielle, permettent le contrôle des mises bas (après les fêtes de fin d'année) et celui du début de la traite. Cette date est aussi un élément décisif des choix globaux d'alimentation : alors que les mises bas s'échelonnaient de la fin de l'hiver au début du printemps, l'avancée du début de la traite va induire un besoin accru de ressources stockées, produites ou achetées, et au contraire le recul du début de la traite va permettre de "faire" le lait avec une structure de ration différente (moins de fourrage et plus d'herbe des parcours, ceci au prix d'une réduction de la production par brebis). La conduite du troupeau reste cependant largement conditionnée par des contraintes imposées par les collecteurs, qu'elles qu'en soient les raisons et les modalités. Ainsi, les calendriers de collecte déterminent-ils les dates de mise bas et les calendriers de lactation.

- **l'utilisation d'aliments concentrés**, distribués globalement ou par lots homogènes, mais non individuellement contrairement à l'élevage bovin,

- **le contrôle laitier et le suivi de la lactation** (de 100 à 200 j),

- **l'amélioration génétique des animaux**,

- **l'amélioration fourragère des prairies** et l'augmentation des rendements sur les terres labourables. Ce dernier point a eu un impact spatial important, en permettant la production des ressources alimentaires stockées sur une surface réduite,

et enfin,

- *le mode de gestion du pâturage* : la pose de clôtures permet la suppression du gardiennage et la gestion de l'herbe, mais présente aussi des inconvénients. Selon le contexte climatique et les caractéristiques de l'élevage, l'utilisation des ressources fourragères pâturées est plus ou moins importante et suit une courbe saisonnière. La durée du maintien en bergerie également. Les brebis peuvent commencer à sortir en Mars ou Avril, en fonction de la pousse de l'herbe et de la température.

Sur le parcours, le critère significatif est le rapport entre le temps effectif d'alimentation et le temps de présence. Selon la technique de pâturage utilisée (orientée par le berger ou libre dans un parc), le rapport est variable : il est deux fois plus important avec le gardiennage. Avec cette technique, le taux de refus est également moins élevé. La dynamique de la végétation est donc affectée par le mode de conduite du pâturage. Il en découle que le nombre de jour ou d'heure passées sur le parcours n'est pas un critère suffisant pour rendre compte à la fois de la ration ingérée, et de l'impact du pâturage sur la végétation. Le taux de prélèvement de la ressource fourragère disponible (qui définit la ration correspondante) dépend du mode de pâturage. Selon les systèmes, le pâturage sur parcours peut contribuer pour la moitié dans la ration quotidienne.

La manière dont chaque exploitation a pu décliner ce modèle technique en fonction de sa situation spécifique a conduit à une grande variété de stratégies individuelles, notamment en ce qui concerne les stratégies d'alimentation du troupeau. Cette variété est synthétisée dans la typologie proposée par P.L. Osty et S. Lardon, que nous reprenons ici, et qui nous servira à paramétrer les types d'éleveurs (Lardon 2000). Retenons cependant que cette typologie est basée sur le mode de gestion des ressources et du troupeau, pour un état donné des techniques, et notamment qu'elle ne permet de prendre en compte la dynamique des techniques, ni d'ailleurs les changements de type. Elle ne peut donc pas décrire le processus d'innovation lui-même, notamment parce qu'elle suppose implicitement que toutes les exploitations procèdent à la traite mécanique. De plus, les éléments de structure correspondants définissent une capacité de production adéquate à l'état actuel des techniques.

La question que nous devons résoudre est donc comment constituer les paramètres des types initiaux, et comment les faire évoluer pour arriver grosso modo aux types actuels.

Tableau 1. Modèles technico-économiques actuels

Production	Viande	Viande	Viande	Viande	Lait	Lait	Lait	Lait
Label (--->) et Caractéristiques	Rustique	Intermédiaire	Pastoral	Nourrisseur	Rustique	Intermédiaire	Pastoral	Nourrisseur
Terres labourables (Ha)	30	25	30	35	40	40	50	50
Brebis/ Ha-TL	10	10	7	11	4	5	6	7
Parcours (Ha)	180	130	110	90	120	100	80	50
Surface totale (Ha)	210	155	140	125	160	140	130	100
Brebis (total)	300	250	210	400	160	200	300	350
Agneaux/100 ha	75	84	117	137	70	70	80	100
Agneaux/brebis	0,25	0,33	0,56	0,34	0,44	0,35	0,26	0,28
Lait (Hl/100 ha)					50	75	90	120
Lait (l/tête)					0,5	0,525	0,40	0,34
Lait produit (Hl)					80	105	117	120
Taux de prélèvement sur les parcours (%)	0,8	0,6	0,9	0,4	0,8	0,6	0,9	0,4
Amplitude					0,4–0,9	0,3–0,8	0,7–1,0	0,2–0,7
Aliments achetés (tonnes)								
Aliments achetés/brebis								

((Lardon 2000) et d'après communication personnelle de P.L. Osty)

Tableau 2. Modèles technico-économiques initiaux reconstitués (Années 1950-1960)

Production	Viande	Viande	Viande	Lait	Lait	Lait
Label (--->) et Caractéristiques	Rustique	Intermédiaire	Pastoral	Rustique	Intermédiaire	Pastoral
Terres labourables (Ha)	6	5	6	8	8	10
Brebis/ Ha-TL	5	5	3,5	2	2,5	3
Parcours (Ha)	180	130	110	120	100	80
Surface totale (Ha)						
Brebis (total)	30	25	21	16	20	30
Agneaux/brebis	0,25	0,33	0,56	0,44	0,35	0,26
Lait (Hl/tête)				0,25	0,25	0,20
Lait produit (Hl)				4	5	6
Taux de prélèvement sur les parcours (%)	0,8	0,6	0,9	0,8	0,6	0,9
Amplitude				0,4–0,9	0,3–0,8	0,7–1,0

3.2.2.2 La dynamique des modèles technico-économiques

Le but de la modélisation n'est pas ici de rendre compte des processus de diffusion de l'innovation, comme pourrait le faire un sociologue, mais simplement d'engendrer une dynamique des modèles technico-économiques.

Soit une population initiale d'exploitations ou de familles, dispersées dans l'espace selon un maillage de hameaux ou lieux-dits hérités de l'histoire (Carte 1, Les lieux dits du Causse). Dans chaque lieu-dit, les éleveurs se connaissent mutuellement et peuvent observer les pratiques d'élevage de leurs voisins. Ils peuvent aussi connaître, mais moins souvent, les comportements des éleveurs des lieux-dits immédiatement contigus. Ce réseau de voisinage va permettre la diffusion des innovations par mimétisme (Polhill J.G. 2001). Si l'on s'en tenait à ce réseau local, la diffusion serait lente, c'est le modèle de la "tâche d'huile". Nous allons donc nous en servir de modèle de référence. Nous allons le compléter en introduisant une deuxième notion de voisinage, liée à la scolarisation et à la démographie. L'idée est ici que les stratégies mimétiques sont d'autant plus fréquentes qu'elles concernent des individus appartenant à une même cohorte (les camarades d'école par ex.) ou à une cohorte proche dans la temps. Un tel "voisinage" démographique a constitué l'essence même du mouvement de modernisation agricole dans les années 60, avec la JAC puis le mouvement des Jeunes agriculteurs. Dans ce dernier cas, il s'agit d'ailleurs d'un couplage entre une proximité démographique et une proximité sociale constitutive d'un réseau plus large que le réseau local. Au niveau individuel, on aura alors un paramètre de capital social qui va donner accès à des réseaux extérieurs, permettant ainsi une adoption plus rapide, se traduisant pour ses détenteurs, par une rente d'innovation, et pour ses voisins, par un accès indirect et retardé à l'innovation. L'idée est de contraster un modèle à capital social dynamique, reposant sur l'interaction entre capital social initial et participation à l'action collective : les innovateurs dans l'action collective récupèrent les dividendes de leur participation sous forme de rente d'innovation et d'une estime accrue de leurs voisins. Ainsi, la population initiale va-t-elle plus ou moins rapidement se différencier, tant du point de vue économique que du point de vue social, ce qui va se traduire, au moment des changements de génération, par des cessations d'activité (pure et simple ou avec reprise par les éleveurs en place) ou par des reprises. Ainsi esquissé à grands traits, le modèle combine l'hétérogénéité spatiale et sociale, pour expliquer la concentration des élevages et la dynamique des lieux-dits.

3.2.3 Dynamique de la population

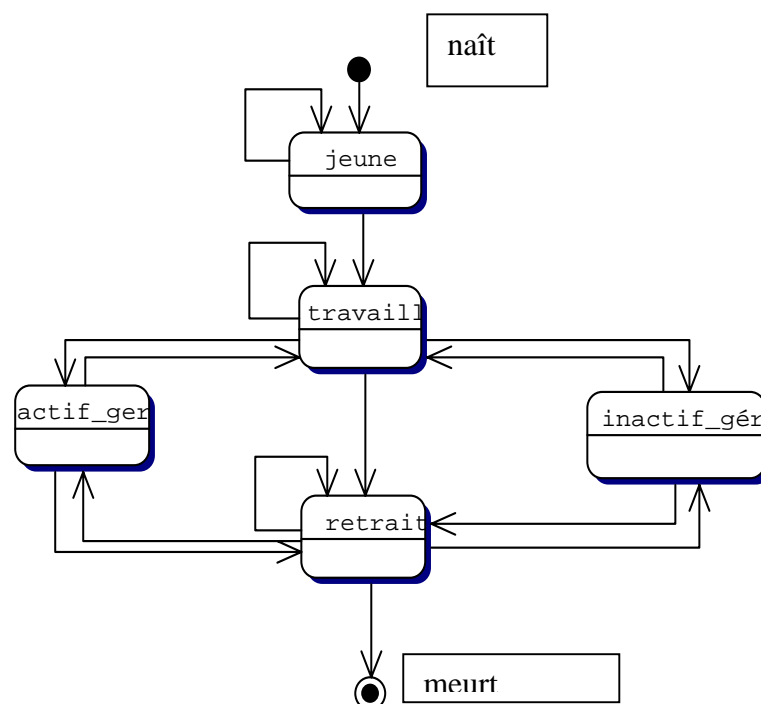
La dynamique de l'innovation conduit à une augmentation de la production et de la productivité, dans un contexte de stabilité relative des prix. Ce sont alors les différences de productivité (liées principalement aux différences dans les rythmes d'incorporation des innovations) qui expliquent la dispersion des résultats économiques, la croissance des exploitations et finalement leur probabilité de démantèlement à la fin de la carrière de l'éleveur. En effet, ce qui nous importe ici, c'est le nombre d'exploitations dans un lieu-dit, et son rapport au territoire. En cas d'abandon de l'exploitation, les parcelles vont retourner à leur propriétaire. Chaque parcelle ainsi libérée pourra soit être conservée en gestion directe par le propriétaire (qui pourra simplement la conserver, et la laisser se boiser naturellement, ou la boiser avec ou sans aides), soit attribuée à une des exploitations pérennes du lieu-dit ou des lieux-dits voisins. Dans ce dernier cas, la procédure d'affectation prendra en compte les critères de distance au lieu-dit, et de contiguïté des parcelles. La description précise de ce

processus dans le modèle est faite dans les diagrammes d'événements « cycle de vie de l'habitant ».

Par commodité, nous avons décidé de choisir dès le début les familles-exploitations qui vont rester jusqu'au bout, et récupérer les terres des autres. Ceci présente l'avantage de travailler sur deux groupes formés a priori, le groupe des familles Perennes et les autres, que nous ferons sortir au moment de l'arrivée à l'âge de la retraite, et que nous choisirons aléatoirement, dans la population des familles non-perennes.

Afin de tester l'influence des modalités de dépopulation sur la dynamique du paysage, nous pourrions ultérieurement simuler un processus dans lequel la probabilité de disparition est modulée spatialement, par exemple selon un gradient Est-Ouest.

Figure 7 : Diagramme des états de l'individu



3.3 *Politiques Publiques : Approche historique et descriptive*

Au sortir de la deuxième guerre mondiale, l'objectif principal de l'Etat était, en France, d'assurer la modernisation de l'agriculture tout en obtenant la parité des revenus agricoles avec ceux des autres secteurs. C'est un objectif d'intégration des agriculteurs à la société. Mais la modernisation de l'agriculture devait se faire en respectant une forme d'exploitation familiale, dans le cadre d'une sorte de pacte social entre la société et les agriculteurs. Ceci impliquait de sélectionner les agriculteurs aptes à s'adapter aux techniques modernes, tout en les préservant de la concurrence d'autres producteurs (protection plus ou moins large aux frontières) et en empêchant des capitaux non agricoles de s'installer en agriculture. Il fallait aussi promouvoir un certain type d'agriculteurs, ce qui implique d'interdire ou de rendre difficile la double activité. C'est là un choix de politique publique déterminant pour l'évolution de la population agricole et de son rapport à l'espace. Ce type de politique comprend trois volets principaux : l'organisation et le soutien des marchés, la politique des structures, la politique d'aide à la mobilité sociale. Ce dernier volet se révélera assez vite peu important.

Dans le domaine forestier, la période d'après-guerre est marquée par le souci d'assurer l'autonomie de l'approvisionnement en bois. Le boisement des terres agricoles est encouragé par des subventions et des exonérations fiscales pour tenir compte de la longueur du retour sur investissement spécifique de l'investissement forestier. Un fond forestier national est créé. Il s'agit aussi d'utiliser la forêt comme instrument de protection des sols et de prévention des inondations. Dans le cas spécifique de la Lozère, cette politique est soutenue par une industrie du bois locale fortement implantée.

Mais l'impératif de modernisation ne s'est pas restreint à l'agriculture : le projet gaulliste portait en fait sur la modernisation globale de la société et de l'économie françaises. Il s'est appuyé sur des politiques de concertation et de planification des investissements publics pour l'ensemble des secteurs. Dans le cas de la Lozère, et du Causse Méjan en particulier, on a pu voir se succéder une politique d'abandon et de reforestation, et une politique de reconquête agricole appuyée sur des investissements publics conséquents. Une approche des politiques publiques intégrées territorialement semble donc indispensable. Nous allons d'abord définir les quelques grandes politiques sectorielles, puis les systèmes de pondération qui pourraient être retenus⁴.

Trois ou quatre grandes politiques ont a priori un intérêt pour la dynamique du paysage :

- la politique agricole
- la politique forestière
- la politique de l'artisanat, du tourisme et des PME
- la politique d'aménagement du territoire et de services publics.

Ces politiques s'appliquent à des agents qui sont extrêmement sensibles à leurs incitations, elles disposent de moyens budgétaires plus ou moins importants qui traduisent de fait les choix politiques globaux. Leurs objectifs et leur modalité de mise en œuvre évoluent dans le temps, mais leurs effets se font sentir au delà de la période d'application (ex :

⁴ Ces considérations n'ont pas été utilisées dans les résultats des simulations présentées ci-dessous, il nous a paru néanmoins utile de les présenter ici pour aider à réaliser l'importance d'une vision large de l'éventail des politiques publiques qui auraient pu être suivies. Et notamment dans une perspective d'aménagement du territoire.

plantations de forêt, élimination de certains types d'exploitations (agriculteurs à temps partiel, petits agriculteurs...).

L'Etat définit des objectifs pour l'agriculture, la forêt, l'aménagement du territoire. Il décide de moyens budgétaires, et de critères de contrôle et de pilotage pour guider sa politique. Une fois définie, une politique possède une inertie forte, et il est difficile d'en changer subitement. Cependant, des déséquilibres persistants, des écarts trop importants par rapports aux objectifs, ou des événements liés à des objectifs plus généraux peuvent l'amener à réviser ou à réformer sa politique. Les moyens publics affectés aux différentes politiques peuvent donc évoluer, alors même que les caractéristiques essentielles des politiques restent stables. Définir des scénarii de politiques publiques, c'est donc aussi définir la pondération des fonds publics affectés à la zone de la recherche.

Tableau 3. Scenarii de politiques agricoles

	SOUTIEN SELECTIF	SOUTIEN INDIFFERENCIE	SOUTIEN SELECTIF MODULE	PAS DE SOUTIEN
Objectifs	Exploitation familiale à temps plein	Maintien de la population rurale (avec pluri-activité)	Maintien de la population r (pas de pluri-activité)	Ajustement par le marché
Critères	Jeunes, SMI	Résidence	Jeunes	Prix et productivité
Instruments :				
Aides directes au revenu	RMI Exonérations fiscales	Primes	Primes	
Aide à la mobilité	Vieux (Retraite et préretraite)	Jeunes et vieux	Vieux	Jeunes
Aides en Capital	Subventions (en capital ou en bonifications d'intérêts) Rachats (avec ou sans rétrocession) Agriculture uniquement	Subventions (en capital ou en bonifications d'intérêts) Rachats (avec ou sans rétrocession) Sans distinction de secteur	Subventions (en capital ou en bonifications d'intérêts) Rachats (avec ou sans rétrocession) Agriculture uniquement	
Aides à l'innovation	Recherche publique et Subventions aux GVA		Recherche publique et Subventions aux GVA	GVA privés
Infrastructures industrielles	Industries agricoles	Industries rurales et tourisme	Industries agricoles Industries du bois	
Infrastructures publiques	Aides aux défriches et aux chemins forestiers	Aides aux communications et services ruraux	Aides aux défriches et aux chemins forestiers	Communicati ons, Télécommuni cations et services ruraux
Ecoles		Ecoles cantonales		Ecoles cantonales
Marchés	Accès libre /quotas Protection aux frontières (AMF)	Accès libre Protection aux frontières (AMF)	Accès libre /quotas	Accès libre, pas de protection aux frontières

Tableau 4. Scenarii de politiques forestières

	DEFENSE SELECTIVE DE LA RESSOURCE	CONQUETE TERRITORIALE	CYCLE SYLVO- PASTORAL
Objectifs	Mobiliser la ressource pour alimenter l'industrie	Alimenter l'industrie, gérer l'espace	Equilibre Agriculture-Forêt
Instruments	Zonage agriculture – forêt Subventions et exonérations fiscales	Soumissions des sectionaux Interdiction des défriches Subventions et exonérations fiscales	Partage négocié des sectionaux, autorisation sélective des défriches,
Formation et Innovation	Formation forestière et du bois		Formation forestière et du bois
Critères	Dimension des parcelles (> 15 ha),		Subventions aux éclaircies et aux sylvo-pastoralisme
Infrastructures industrielles	Industrie du bois et du débardage		Industries agricoles et du bois
Infrastructures publiques	Accessibilité des massifs et des parcelles(mobilisation de la ressource)	Accessibilité des parcelles	Accessibilité des parcelles

Ces deux tableaux ne sont pas exactement homogènes car les politiques publiques correspondantes n'ont pas exactement les mêmes préoccupations. Ainsi, la politique forestière met-elle plus l'accent sur le ressource et sa mobilisation, alors que la politique agricole doit traiter avec des problèmes humains plus complexes. De plus, ils font apparaître le besoin et la possibilité d'une coordination qui n'est pas forcément réalisée a priori. Les scenarii peuvent être composés à partir de la combinaison de ces types de politiques. Notons aussi que certains instruments des politiques peuvent avoir des effets inattendus dans un autre domaine : ainsi, par exemple, la diffusion de l'innovation et l'adaptabilité des agents peut être favorisée par les soutiens au GVA comme par l'accès des agriculteurs à temps partiel à des connaissances et des capacités nouvelles dans l'exercice de leur autre activité.

Il apparaît également que la description de chacune de ces scenarii de politiques publiques n'est pas suffisante pour les caractériser complètement, et met en évidence l'intérêt d'une approche multi-sectorielle, présentant les pondérations des investissements publics dans chaque secteur, et d'une matrice des interactions et des coordinations. Les pondérations présentent l'avantage, pour la modélisation d'être évolutives, et donc de faire pouvoir évoluer les scenarii selon différents critères, politiques, économiques ou écologiques. Elles permettent de donner un contenu concret, en termes d'économie locale, aux principaux objectifs et critères définis dans les tableaux précédents, et, de plus, de tenir compte des effets externes ou de déversoir.

Tableau 5. Pondérations (virtuelles) des fonds consacrés aux politiques publiques, traduisant des objectifs de politiques publiques

	Priorité à l'agriculture	Priorité aux services publics (politique libérale)	Priorité à la forêt	Priorité aux Industries rurales
Agriculture	40	5	10	10
Forêt	10	5	20	10
Industries rurales	10	10	10	40
Infrastructures et services publics	40	80	60	60

4. Initialisation et paramétrage du modèle

Dans les modèles de simulation basés sur les individus, les techniques d'initialisation sont déterminantes pour minimiser les différents biais (aléa de spécification, aléa inhérent, (Post 1997). De plus, notre choix consiste à appuyer autant que possible notre modélisation sur des données empiriques issues du terrain. Tel est le cas du support spatial, des états de la végétation, des niveaux de population etc...Ce choix est en grande partie dicté par la nature du problème posé, mais aussi par la volonté de relier autant que possible les résultats aux besoins des usagers sur le terrain. Il rejoint une tendance grandissante dans la communauté de modélisation multi-agents .

4.1 Initialisation de l'espace

L'initialisation du modèle est une opération essentielle qui conditionne beaucoup les résultats. Pour la réaliser, nous pouvons nous appuyer sur des données et sur des hypothèses. Les données proviennent pour l'essentiel de l'étude de la dynamique de la végétation entre 1963 et 2000, ainsi que des données de population et des statistiques de livraison de lait à différentes dates, élaborées spécifiquement au niveau des lieux-dits. L'hypothèse centrale du modèle porte sur le rôle et le mode de construction des lieux –dits. A partir des centres de hameaux habités en 1945, nous avons élaboré un réseau de lieux-dits en utilisant la méthode des polygones de Thiessen. Les parcelles cadastrales ont été affectées à ces polygones, puis dans un second temps, aux habitants qui ont un rôle économique d'éleveur (Carte 3).

Nous avons initialisé le modèle spatial utilisé par HTPP à partir des bases de données externes constituées dans la deuxième partie. Nous devons ensuite traduire la nomenclature du couvert végétal en 1963, réalisée par photo-interprétation et comportant 10 catégories, en un indice d'embroussaillage, et une variable continue représentant la biomasse.

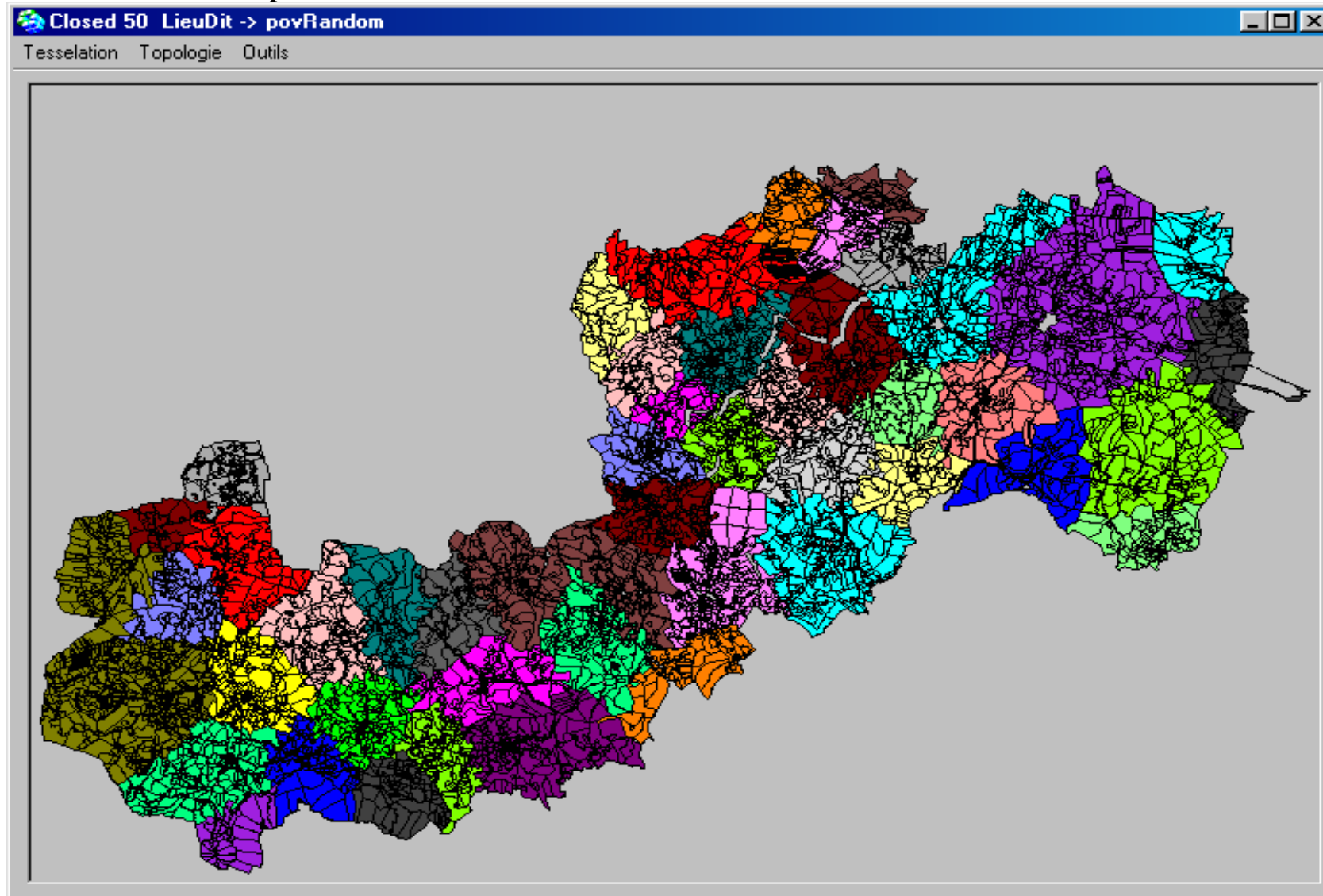
Nous avons rétopolé la description du couvert végétal en 1963 en nous appuyant sur la nomenclature de ce couvert. La rétopolation a consisté simplement à transformer toutes les parcelles de couvert 5 (landes fermées) en 1963 en couvert 3 (landes piquetées) en 1917. Les cartes présentées ci-dessous représentent donc l'état du couvert des parcelles en 1917, et servent de base à toutes les simulations.

La transformation de la nomenclature discrète en variables continues est une opération décisive, qui conditionne la dynamique ultérieure du modèle. Nous avons testé deux fonctions de transformations, H et R, qui reviennent à créer deux distributions initiales différentes des parcelles en fonction de la biomasse, et qui correspondent donc à deux niveaux différents de biomasse totale dans le paysage. L'échelle R concentre les Indices les plus forts dans les types de couvert au delà de 6. L'échelle H au contraire réalise une répartition initiale plus homogène de l'embroussaillage entre les différents types. Les deux échelles créent donc des conditions initiales différentes, tant pour la biomasse globale que pour sa répartition dans l'espace. Nous ajoutons une variable supplémentaire, qui est le taux de biomasse non ligneuse, correspondant à la partie de la biomasse accessible au prélèvement par les animaux (alors que la partie ligneuse est accessible au prélèvement pour les besoins domestiques des habitants).

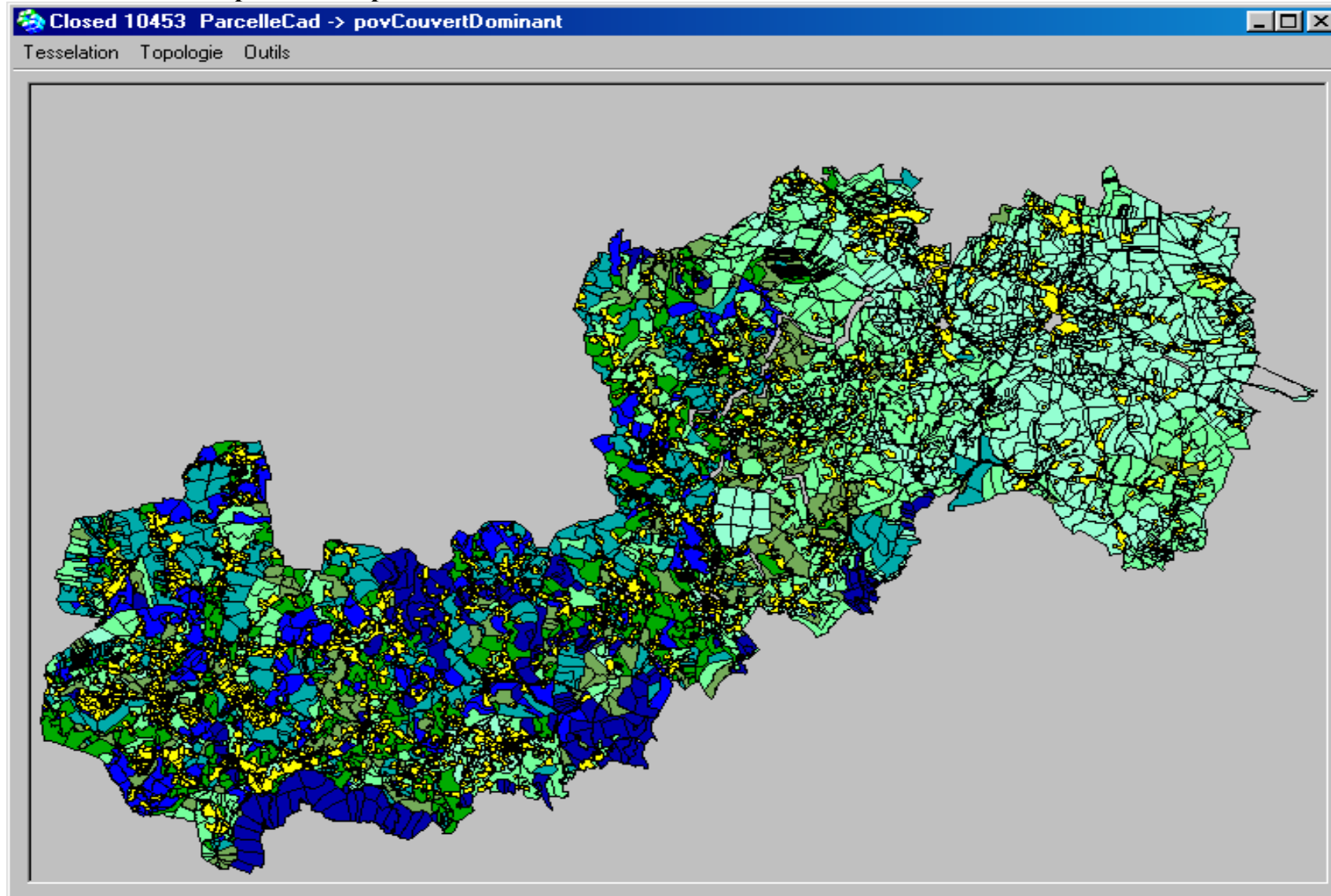
Tableau 6 Transformation de la nomenclature du couvert végétal en Indice de biomasse

Nomenclature du couvert	Indice d'embroussaillage (Echelle R)	Indice d'embroussaillage (Echelle H)	Taux de biomasse Non ligneuse, accessible au prélèvement
1 Terres labourables	0	0	1
2 Pelouses nues	0	5	0.8
3 Pelouses piquées	5	10	0.6
4 Landes	8	15	0.4
5 Landes fermées	10	20	0.2
6 Forêt claire	25	25	0
7-8 Forêts denses	30	30	0
10	0	0	0

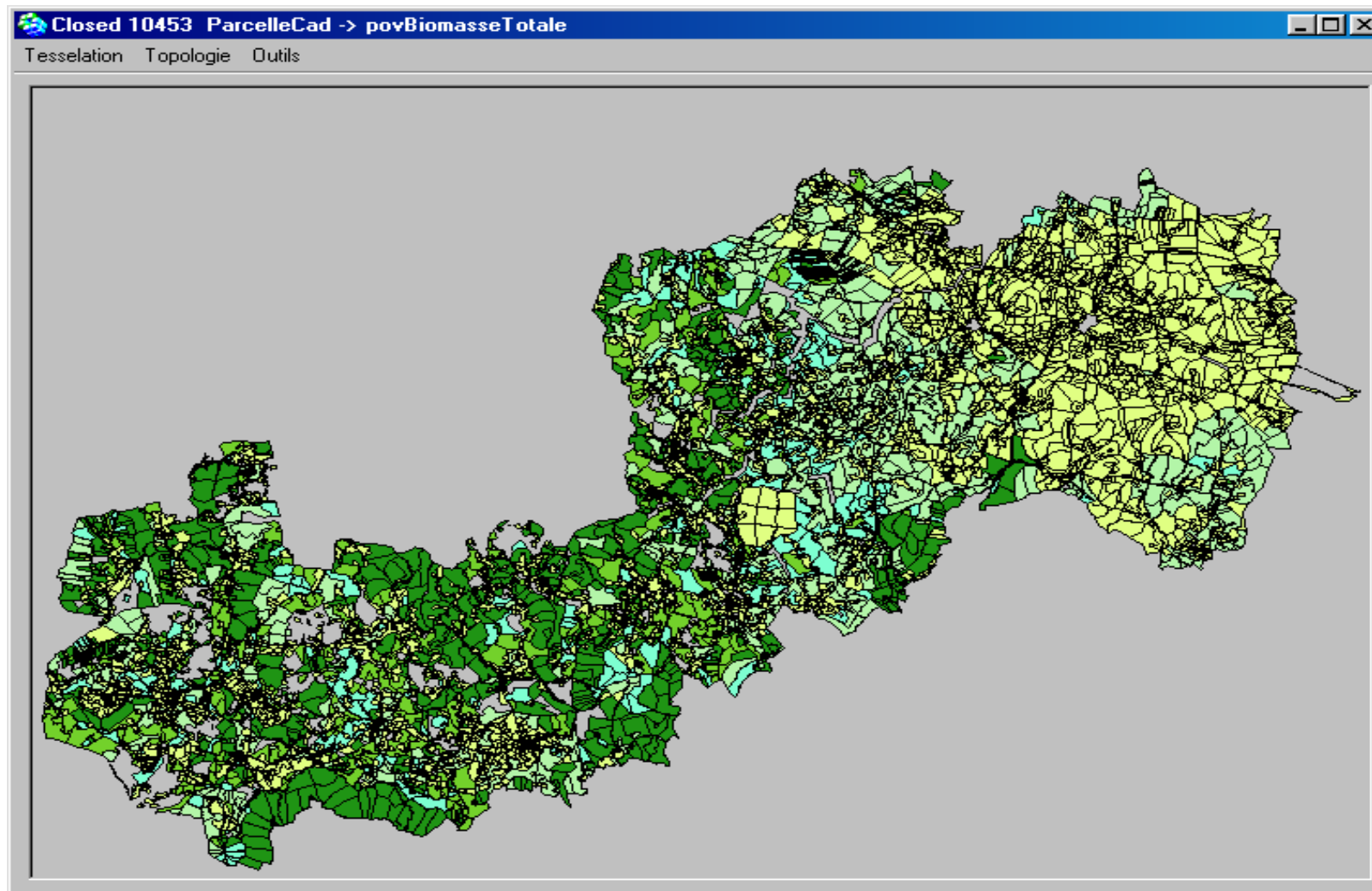
Carte 3. Affectation des parcelles cadastrales aux lieux-dits



Carte 4 Couvert des parcelles d'après la base de données 1963



Carte 5 : Biomasse totale sur les parcelles (1963)



4.2 Initialisation des élevages et des types d'élevage

On part de la population en 1917, nombre de ménages et d'habitants par lieu-dit, puis on calcule le nombre de brebis du hameau à partir de la surface en terres labourables, en utilisant des ratios de charge partielle fournis par PLO : par ex. 5 brebis lait / ha de terres labourables, et 10 brebis viande. On répartit les brebis en fonction de la population des ménages, en comptant une moyenne de 30 brebis par ménage, à moduler selon la population du ménage.. En appliquant le ratio précédent, on calcule la surface théorique de terres labourables nécessaires pour un ménage. Les parcelles sont alors affectées aux ménages par tirage au sort, avec comme contrainte la surface théorique. Il y aura forcément des écarts, qui sont souhaitables.

On affecte alors les éleveurs aux types issus de la typologie de PLO, à l'exclusion des « feeder », ou intensifs, qui n'apparaîtront que par la suite , sous l'effet du processus de modernisation. Ceci se traduit par l'affectation d'un taux de prélèvement à chaque parcelle de parcours affectées à l'exploitation. Puis on affecte les parcelles de parcours, à l'exception des parcelles collectives, de manière à obtenir les caractéristiques définies par PLO pour la charge partielle par hectare de parcours.

Pour l'instant, on établit une correspondance entre le type PLO et le taux de prélèvement de la biomasse. On utilise d'abord un taux de prélèvement identique pour tous les éleveurs d'un même type, puis on introduira dans un deuxième tour, une dispersion autour des moyennes au niveau de l'ensemble des éleveurs du Causse (PLO nous a donné des taux moyens par type et leur dispersion). Enfin, dans chaque lieu dit, on choisit parmi les exploitations initiales celles d'entre elles qui sont destinées à survivre jusqu'à aujourd'hui.

Pour provoquer une dynamique, il suffit alors de doter les éleveurs d'une distribution des ages. Quand un éleveur non-perenne arrive à l'âge de la retraite, ses parcelles et ses brebis sont repris par ceux des éleveurs perennes qui sont dans la phase de réalisation d'investissements de capacité. A ce stade, nous sommes parés pour faire tourner le modèle sans toucher aux structures sociales, et observer le résultat sur la dynamique du paysage.

5. Simulations et Résultats

5.1 Approche générale de simulation

Les politiques publiques peuvent agir d'une part sur la population, c'est à dire sur les habitants, et d'autre part sur les comportements de gestion du prélèvement effectué par les troupeaux. La population prélève de la biomasse végétale sur le paysage, pour ses besoins domestiques. Quand la population diminue, ces prélèvements le font aussi. Le prélèvement domestique s'effectue sur la partie ligneuse de la biomasse. Les troupeaux, quand à eux, effectuent un prélèvement sur la biomasse non ligneuse, et ce prélèvement dépend de la charge moyenne de bétail à l'unité de surface, ainsi que du mode de gestion pastoral. Comme il semble, d'après les statistiques, que le nombre de têtes d'ovins sur le Causse n'aie pas beaucoup évolué, on peut faire l'hypothèse que ce sont principalement les modes de gestion pastoraux qui ont évolué, sous l'effet de la diffusion de nouvelles techniques de culture et d'alimentation des animaux.

Nous allons dans un premier temps nous focaliser sur ces derniers, en définissant de manière exogène des modes d'impact des politiques publiques sur la distribution des prélèvements. La simulation représentera de manière synthétique la réaction de la population des éleveurs à des politiques qui influencent les choix techniques, et, en dernier recours, les modes de prélèvement sur la biomasse. A ce stade, la dynamique de la population des éleveurs n'intervient donc pas dans la dynamique des prélèvements. Dans un second temps, nous simulerons la dynamique de population, et son impact sur la dynamique du prélèvement. La distribution initiale des prélèvements sera dans ce cas définie par la répartition des éleveurs dans la grille typologique définie précédemment. L'attribution d'une stratégie de prélèvement à un éleveur découle des caractéristiques structurelles initiales.

Nous distinguerons dans les premières simulations deux politiques démographiques plus ou moins sélectives. Par exemple, par rapport à une population initiale donnée, et pour une durée de simulation correspondant à la longueur de la période de transition (soit environ 100 ans), nous choisirons de ne retenir que le quart des habitants en catégorie « Perenne » pour le scénario « Absence de soutien » (ce qui signifie que certains lieux dits vont se retrouver vides), et 50% pour le scénario « Soutien sélectif ». Les habitants qualifiés de « non-perennes » seront retirés de la population au cours de la simulation, selon des critères définis plus loin.

5.2 Simulations de référence

Nous allons d'abord effectuer une série de simulations de référence. Pour cela, nous simulerons la dynamique du paysage sous l'effet de deux grands type de décision affectant le taux de prélèvement sur les parcours et la gestion des boisements. Mais dans ces simulations de référence, le processus de décision lui-même ne sera pas modélisé explicitement. En affectant à chaque parcelle un taux de prélèvement, et en le faisant évoluer selon des règles simples, fixées de manière exogène représentant les politiques publiques, nous pourrions déjà cadrer notre modèle. Dans ces simulations de référence, nous n'introduirons aucun critère d'évaluation ou de décision. Les politiques publiques retenues seront simplement constituées par des processus de modification de la distribution des parcelles selon le taux de

prélèvement⁵, et par un certain volume de plantations de forêts, et sur un taux donné de diminution de la population (cfr supra).

L'idée à la base des simulations de référence consiste à étudier l'impact sur le paysage de différents types de politiques publiques définies explicitement en terme de modification de la distribution de taux de prélèvement appliqués aux parcelles et de plantations /défrichement. Pour conserver un certain sens au processus, une fois le choix initial effectué, on le reconduit pour 5 ans (ce qui représente l'inertie des pratiques d'élevage).

Nous avons construit les scénarios en combinant trois critères :

- le type de politique démographique (2),
- le type d'impact sur la distribution des prélèvements sur les parcelles (2)
- le profil temporel de la mise en œuvre des deux politiques précédentes, régulier ou concentré dans le temps (3),

Le mode de sélection des parcelles affectées par le changement du taux de prélèvement peut encore donner lieu à d'autres types de scénarios, comme par exemple le choix de parcelles au hasard, ou selon leur nature juridique.

Nous allons les présenter dans un tableau de synthèse après avoir décrit les modalités de chacun des trois critères.

Types d'impact sur la distribution des parcelles au regard du prélèvement :

Politiques favorisant les faibles prélèvements : le nouveau prélèvement est fixé à 0.1

Politiques favorisant les forts prélèvements : le nouveau prélèvement est fixé à 0.9

Profil temporel de l'impact :

Echange régulier tous les 5 pas de temps, à partir de :

T= 0, t=30, t= 70

Mode de sélection des parcelles en mutation

Aléatoire

Parcelles collectives

	Redistribution vers les faibles taux de prélèvement	Redistribution vers les forts taux de prélèvement	Actions ciblées sur les parcelles collectives
Population 1900 Réduite de moitié	Mise en place en t=0 Mise en place en t=30 Mise en place en t=70	Mise en place en t=0 Mise en place en t=30 Mise en place en t=70	Mise en place en t=0 Mise en place en t=30 Mise en place en t=70
Population 1900 Réduite à 1/4	Mise en place en t=0 Mise en place en t=30 Mise en place en t=70	Mise en place en t=0 Mise en place en t=30 Mise en place en t=70	Mise en place en t=0 Mise en place en t=30 Mise en place en t=70

⁵ Comme l'étendue de la distribution de la taille des parcelles de parcours varie de 4 à plus de cent hectares, il est nécessaire de pondérer par la taille.

5.3 Résultats et interprétations

Chaque simulation produit une carte de la situation obtenue après 100 périodes, ainsi qu'un graphique de la dynamique de la biomasse. L'interprétation repose sur le croisement des paramètres. Ainsi, la réduction du prélèvement sur la partie ligneuse de la biomasse accompagne la diminution de la population (quand un éleveur meurt sans remplaçant, les prélèvements correspondants sur la biomasse pâturable et non pâturable sont mis à zéro dans l'ensemble de son espace de gestion). Celle-ci s'effectue dans les deux cas retenus selon un même profil temporel, (puisque les distributions selon l'âge sont identiques), mais s'établit à des niveaux différents. Si la distribution des taux de prélèvement sur la biomasse pâturable reste inchangée, la dynamique des boisements est donc principalement liée à la réduction de population. Il faut noter que le processus ainsi modélisé maximise la rapidité de l'embroussaillage, dans la mesure notamment où il revient à définir une partition de l'espace en deux parties, l'une qui est progressivement abandonnée au rythme de la décroissance de population, l'autre qui est exploitée du début à la fin. On conçoit dans ces conditions que la constitution initiale des « Espaces de Gestion » de chaque éleveur puisse avoir un impact sur la dynamique. En combinant plus ou moins rapidement à la dynamique de population des politiques de modification des pratiques d'élevage, on obtient un moyen d'évaluer la possibilité de modifier ou non les effets de la politique démographique. Nous porterons en particulier notre attention sur les effets des politiques qui cherchent à combattre les effets de la dépopulation.

Avant de présenter les résultats, notons l'importance cruciale de deux données du modèle : le zonage pédo-climatique, qui définit l'importance des phénomènes de diffusion de la végétation dans le paysage, d'une part, et la localisation des terres collectives, d'autre part.

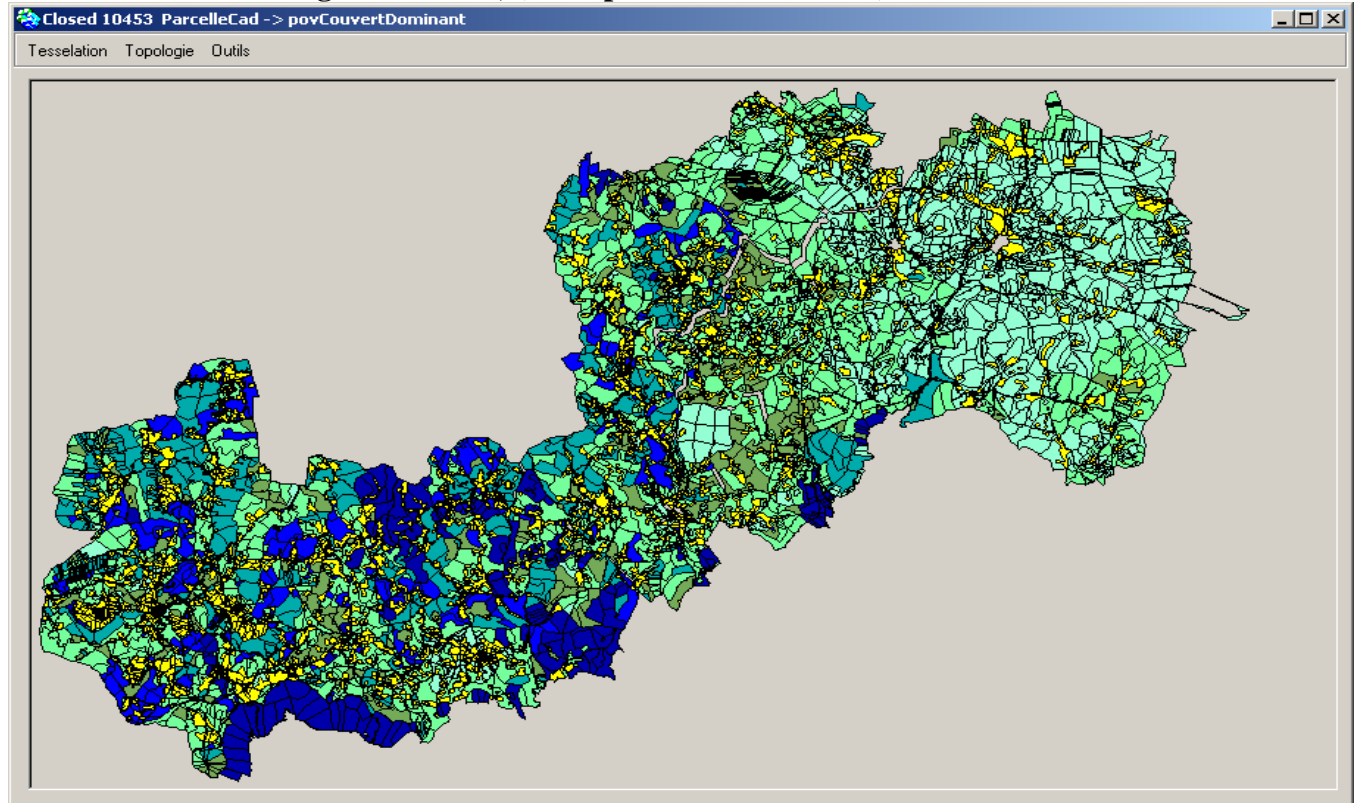
Le zonage écologique définit le paysage-limite, autrement dit, l'état absorbant du paysage, quand on simule une dynamique régressive de la population. Dans ces conditions, c'est lui qui définit l'opposition entre Causse nu, à l'est, et Causse boisé, à l'Ouest. Cette opposition est bien entendu susceptible de s'atténuer si, compte tenu de la localisation des terrains collectifs, attachés à chaque territoire de hameaux, on décide d'appliquer une politique définie sur ces parcelles spécifiques. Ainsi, boiser systématiquement, et de façon précoce, ces terrains, revient non seulement à accélérer le processus de boisement, mais aussi à homogénéiser le paysage, en supprimant l'opposition Est-Ouest liée au zonage pédo-climatique. A contrario, des défrichements massifs sur les terres collectives, tout en provoquant une ouverture du paysage sur la partie occidentale, boisée, va accentuer le caractère « ouvert » du paysage du causse oriental.

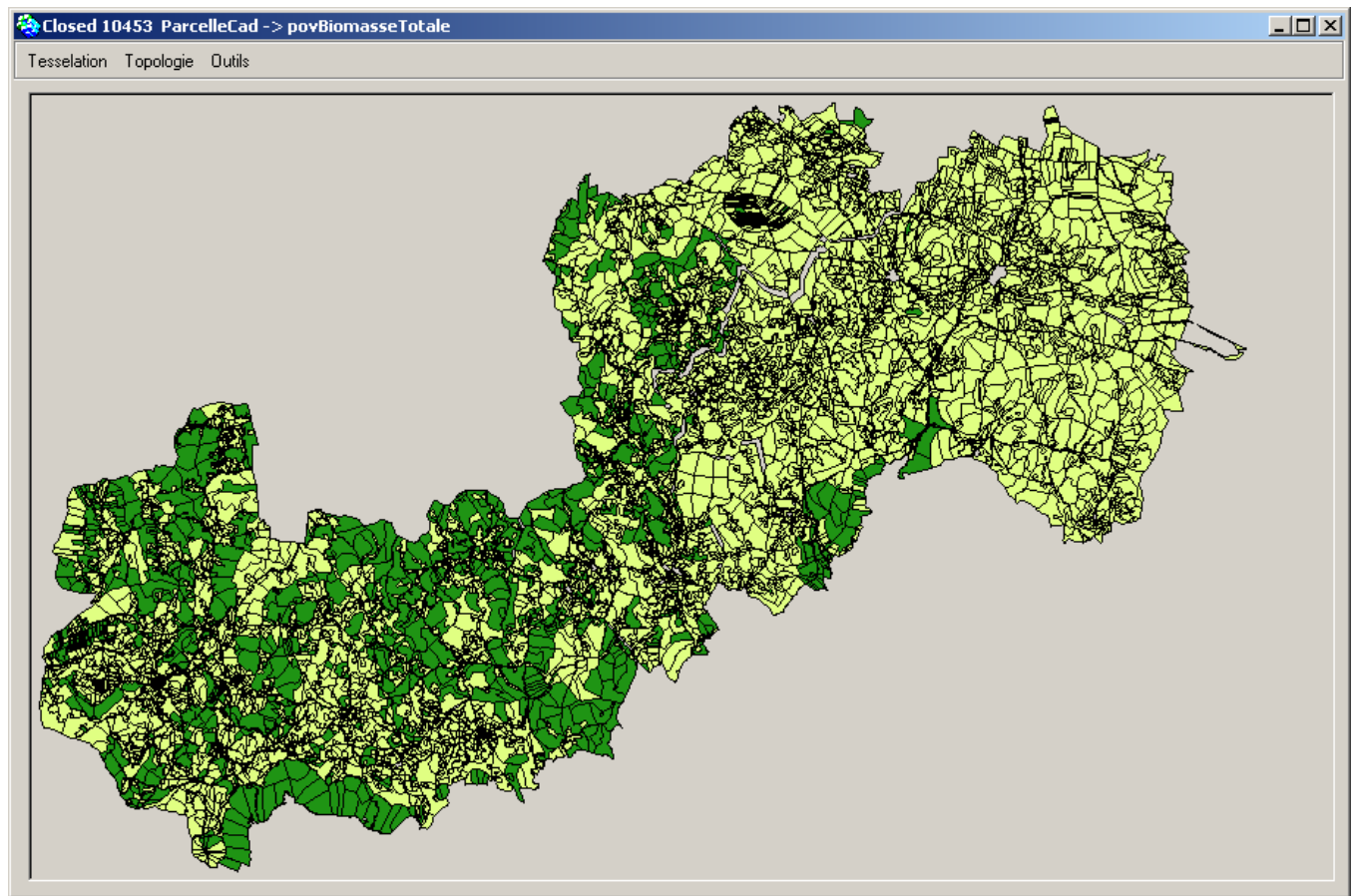
Seule une politique d'incitations aux forts prélèvements mise en place précocement ($t=30$), combinée à la politique démographique moins sélective permet de maintenir un degré d'ouverture du paysage suffisamment élevé (Carte 10). Il présente des clairières assez importantes à l'Ouest, et une grande partie de la partie orientale du Causse conserve alors son aspect de paysage ouvert. La même politique, adoptée plus tardivement ($t=70$), ne parvient pas à enrayer la fermeture de la partie Occidentale du causse. Avec une politique démographique très sélective, il est impossible, quel que soit le moment du processus où l'on met en place les actions favorables aux forts prélèvements, d'obtenir un paysage moins fermé sur la partie occidentale.

Avec les actions favorisant les faibles prélèvements, il y a renforcement des effets du processus de dynamique de population. Comme ces effets sont perceptibles dès les trente premières années, les effets de la politique de prélèvements qui interviennent après ne modifient le processus de fermeture qu'à la marge. Le paysage a basculé vers son état absorbant par le simple fait de la dépopulation et de l'abandon de l'exploitation correspondant.

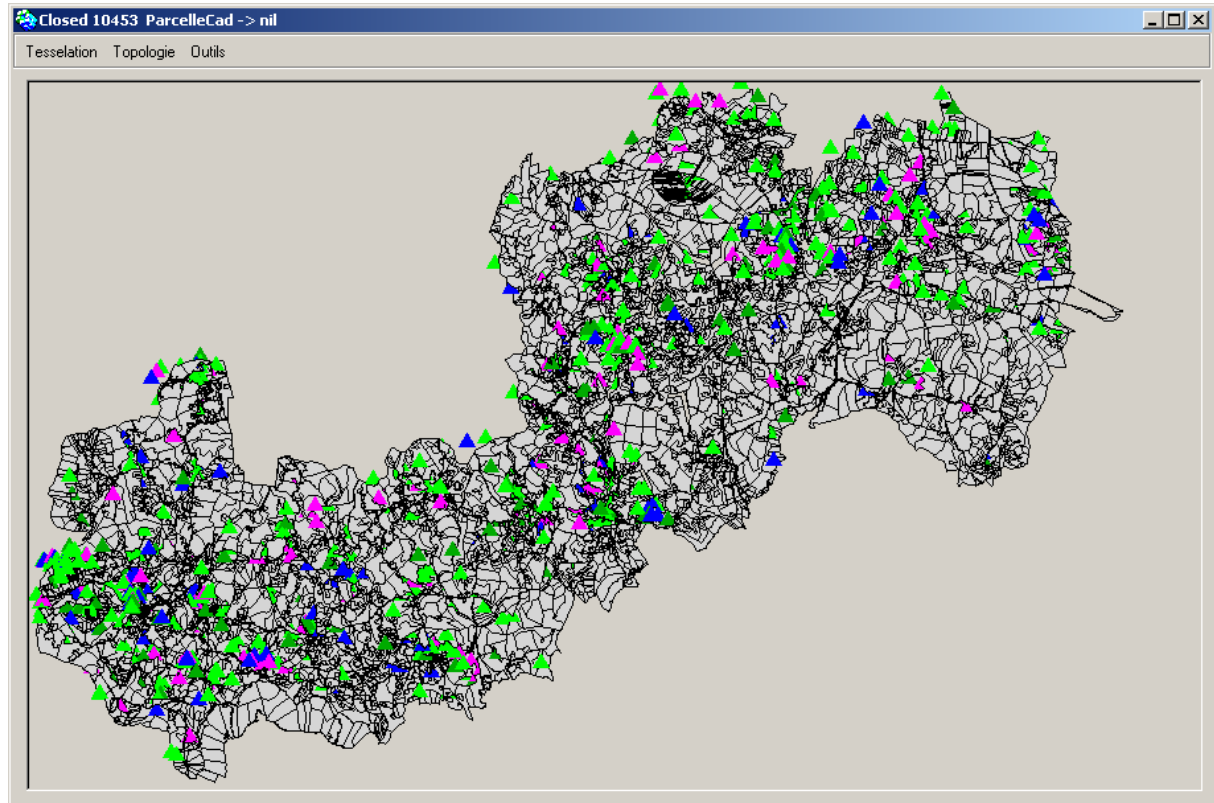
5.4 Résultats cartographiques

Carte 6 Couvert de végétation 1900, (Rétropolation 1963- 1900)

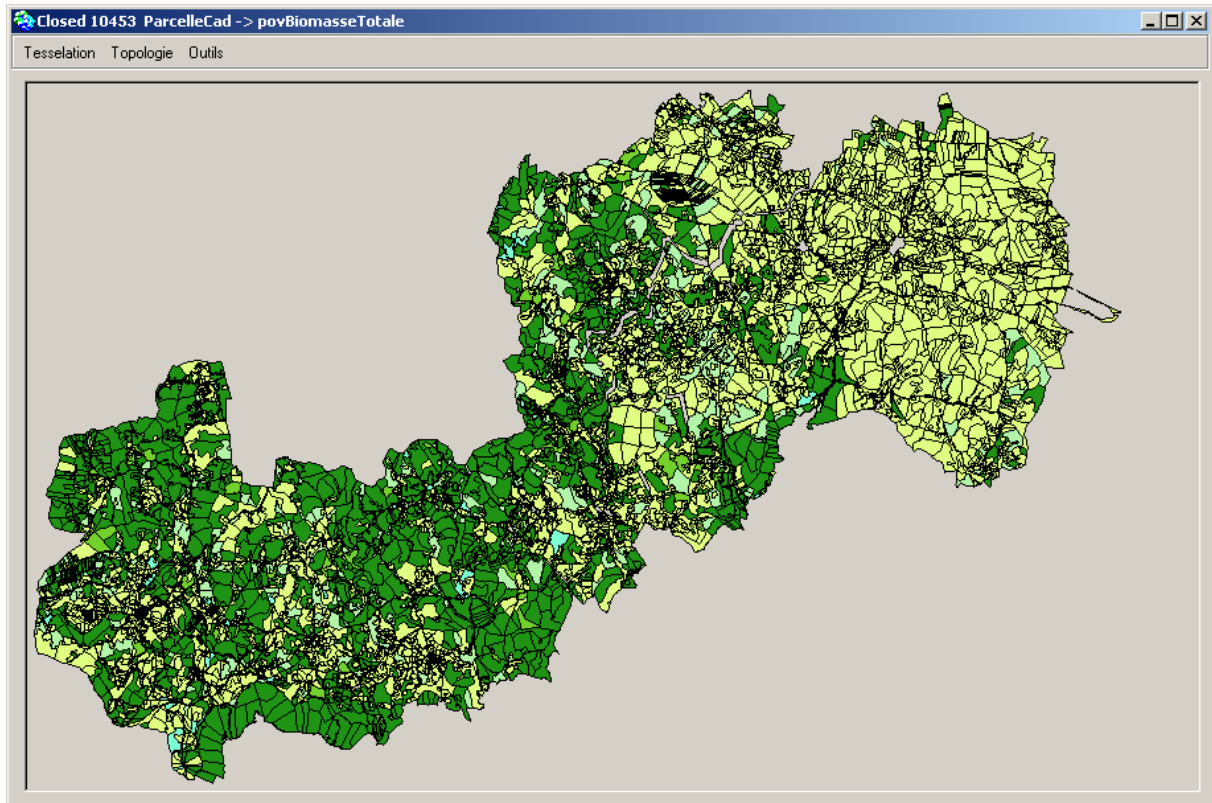


Carte 7. Biomasse : situation en 1900

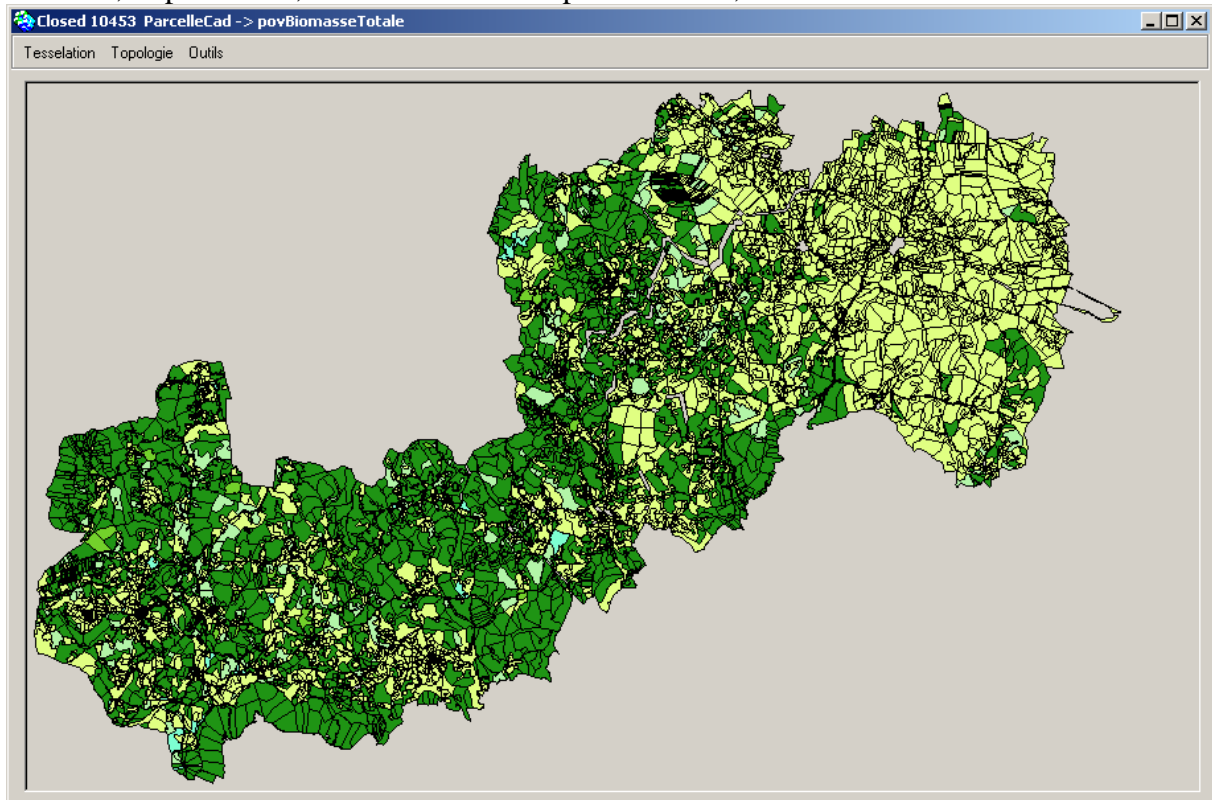
Carte 8 Distribution spatiale de la population initiale



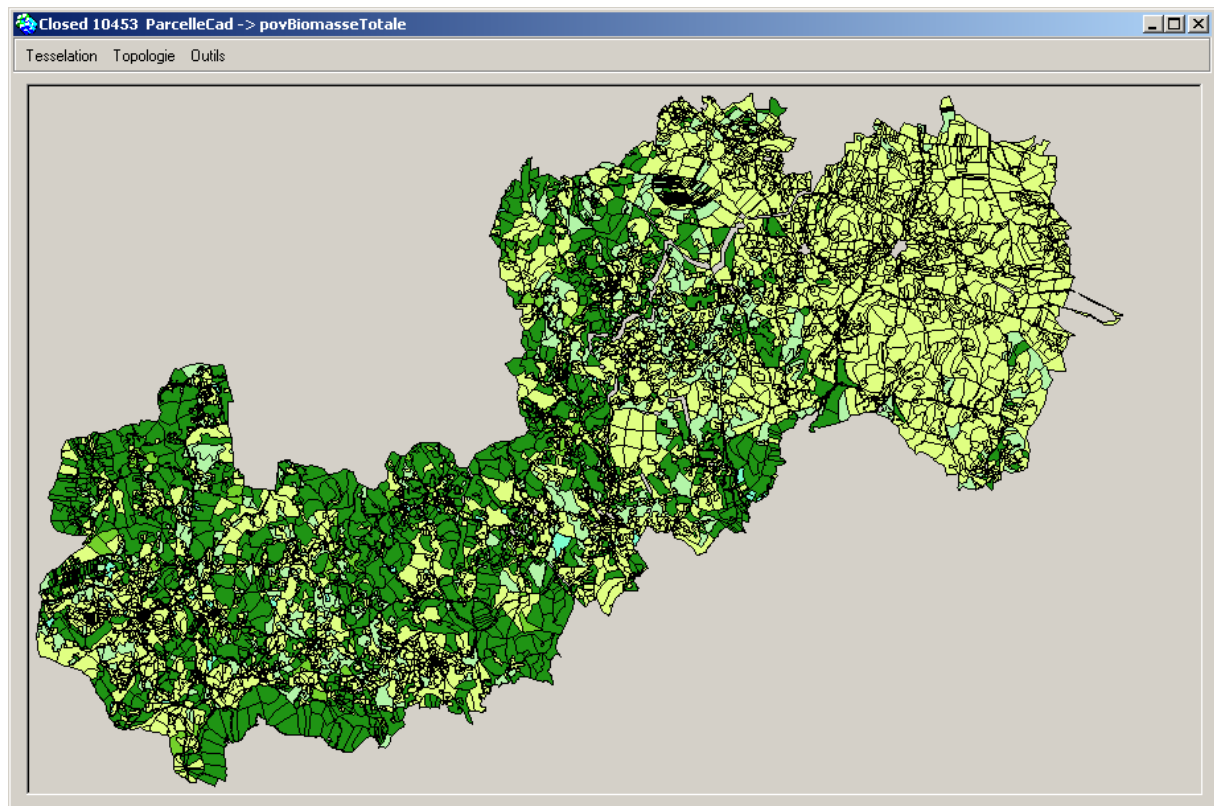
Carte 9 Population/2, Priorité aux faibles prélèvements, Biomasse à t=50



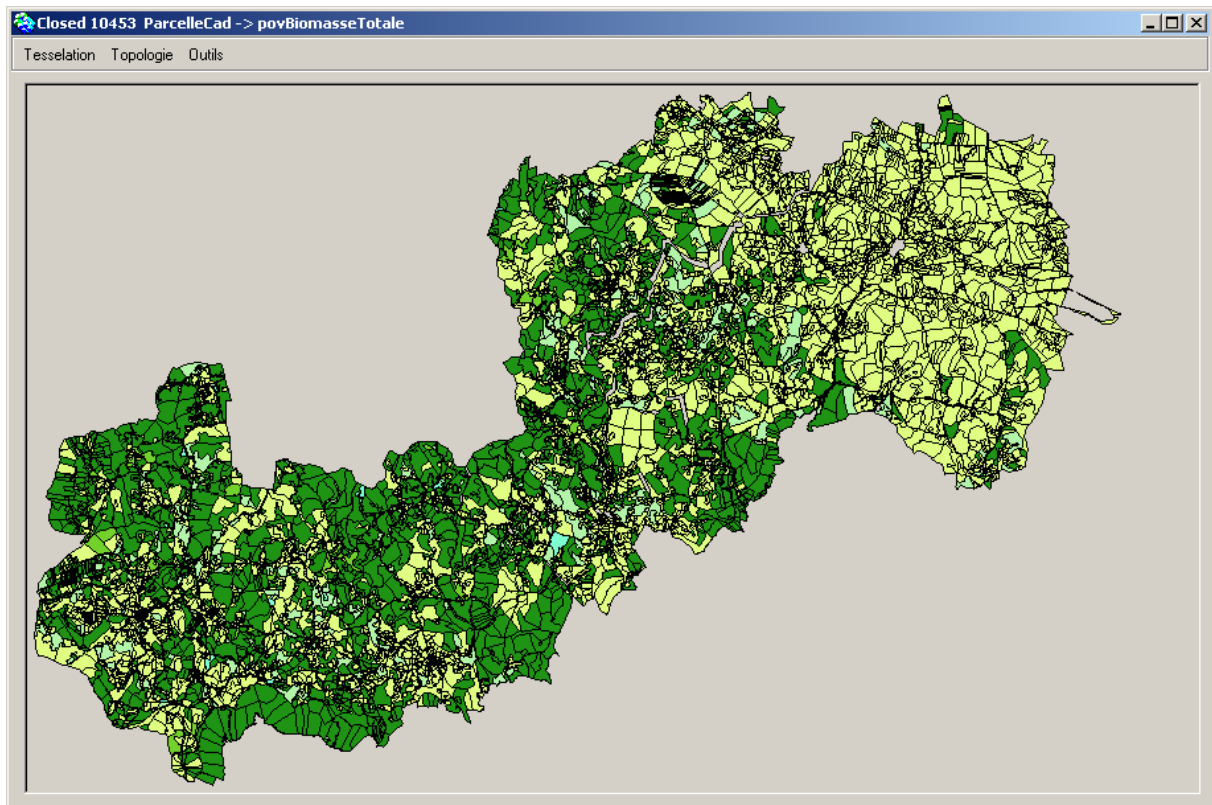
Carte 10, Population/2, Priorité aux faibles prélèvements, Biomasse à t=100



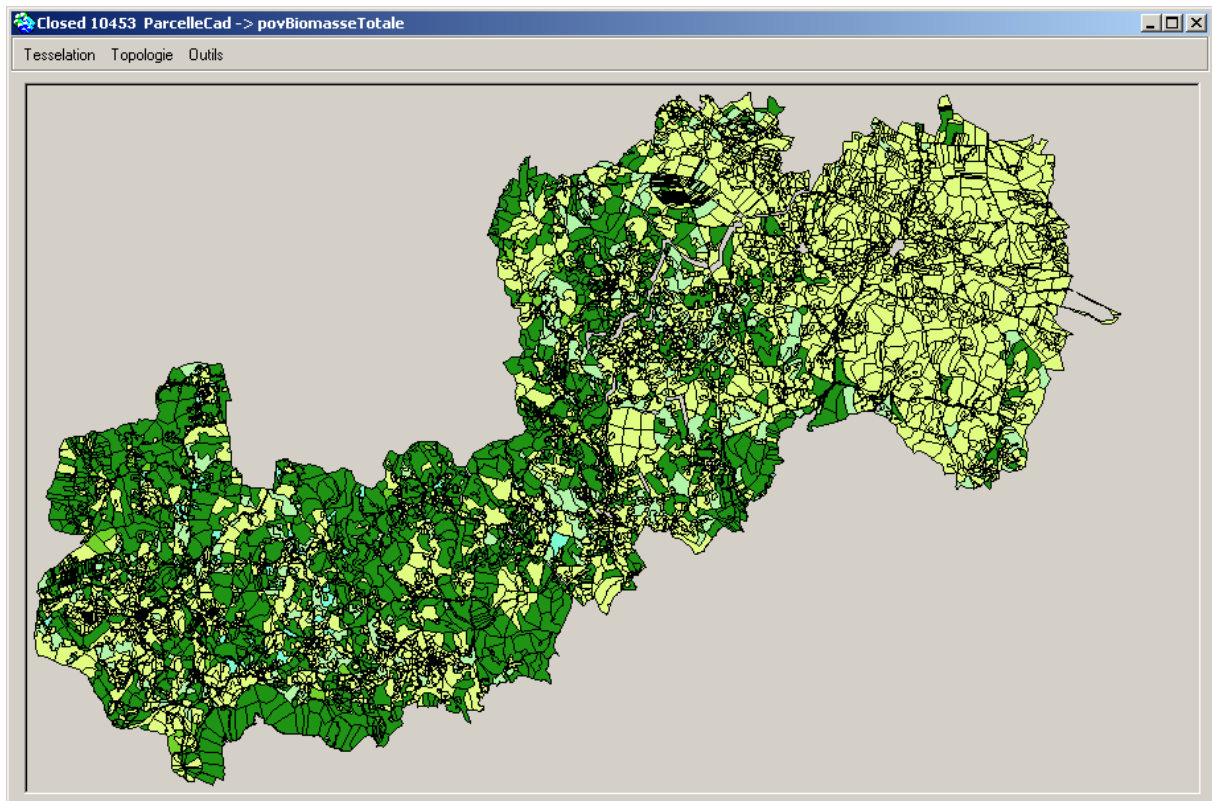
Carte 11 Priorité aux faibles prélèvements avec mise en place à $t=30$,
Etat du paysage à $t=30$



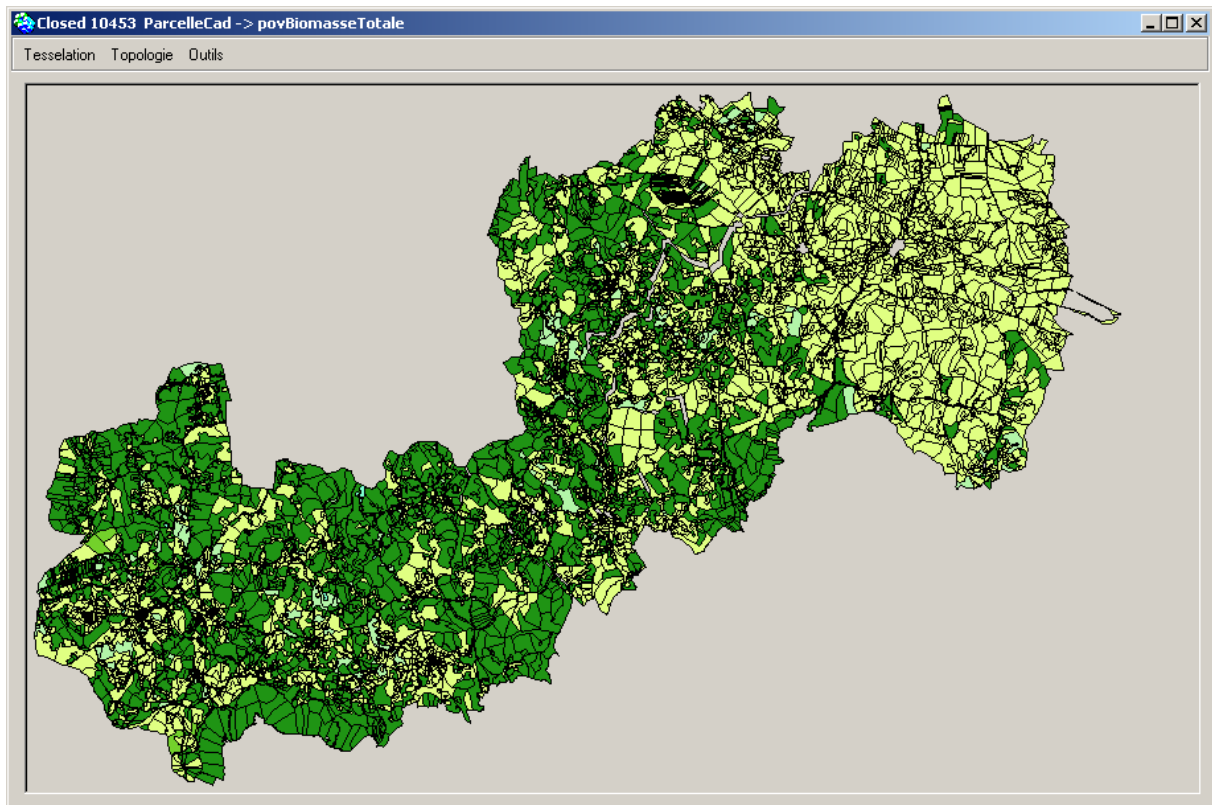
**Carte 12, Priorité aux faibles prélèvements avec mise en place à $t=30$,
Etat du paysage à $t=100$**



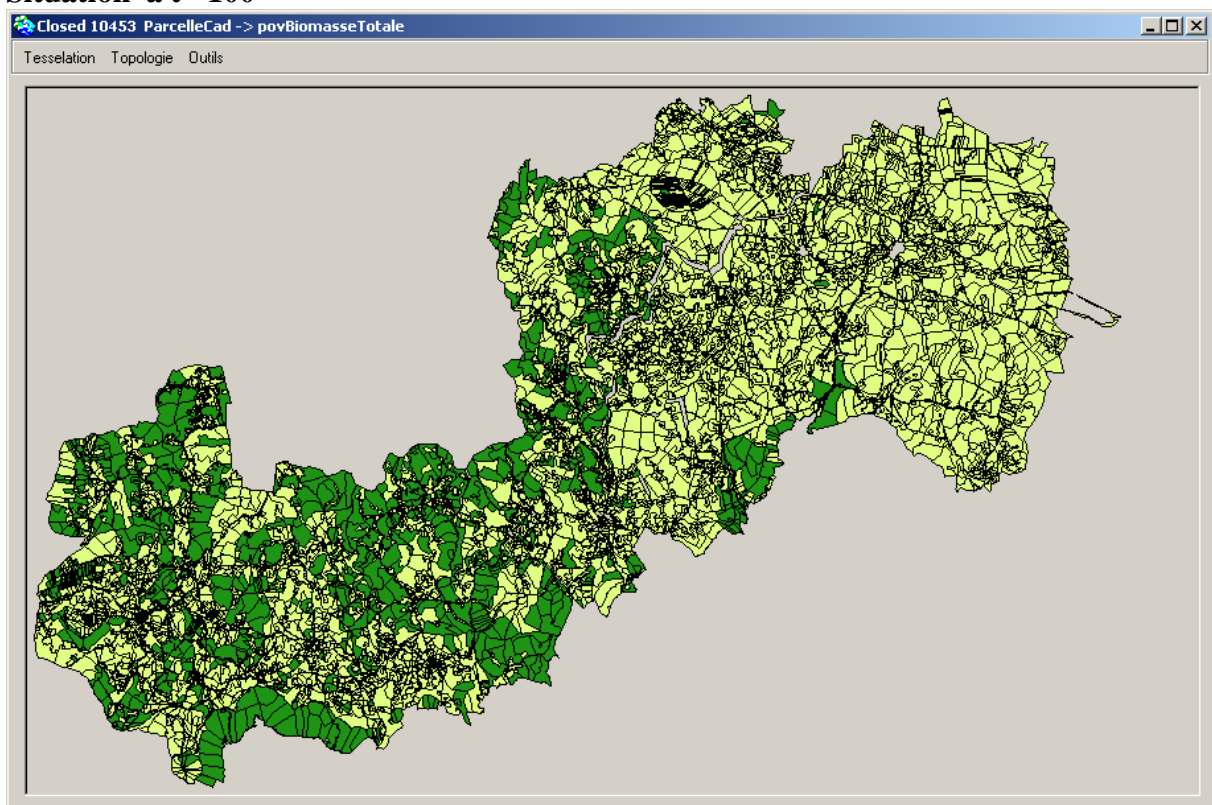
**Carte 13. Population/4, Priorité aux faibles prélèvements, avec mise en place tardive
($t=70$)
Paysage en $t=71$**



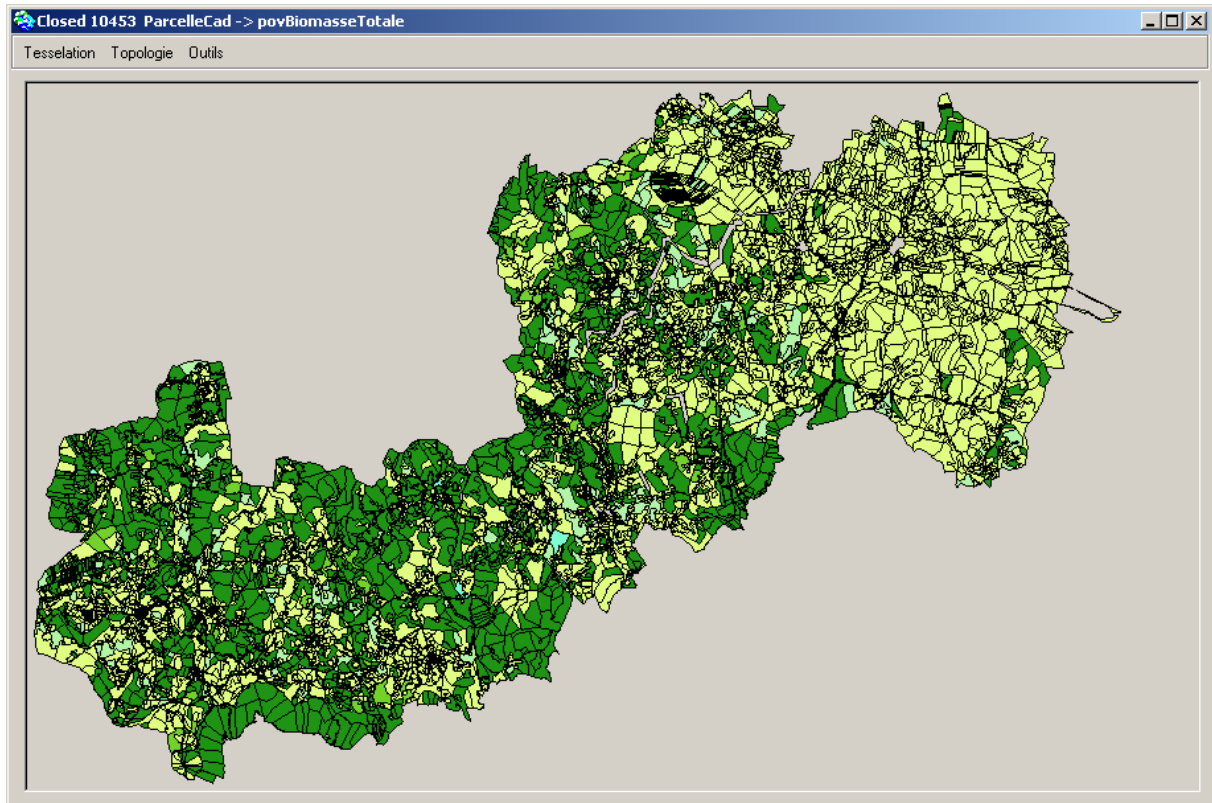
Carte 14. Population/4 ; Faible prélèvements, mise en place à t=30, Paysage en t=100



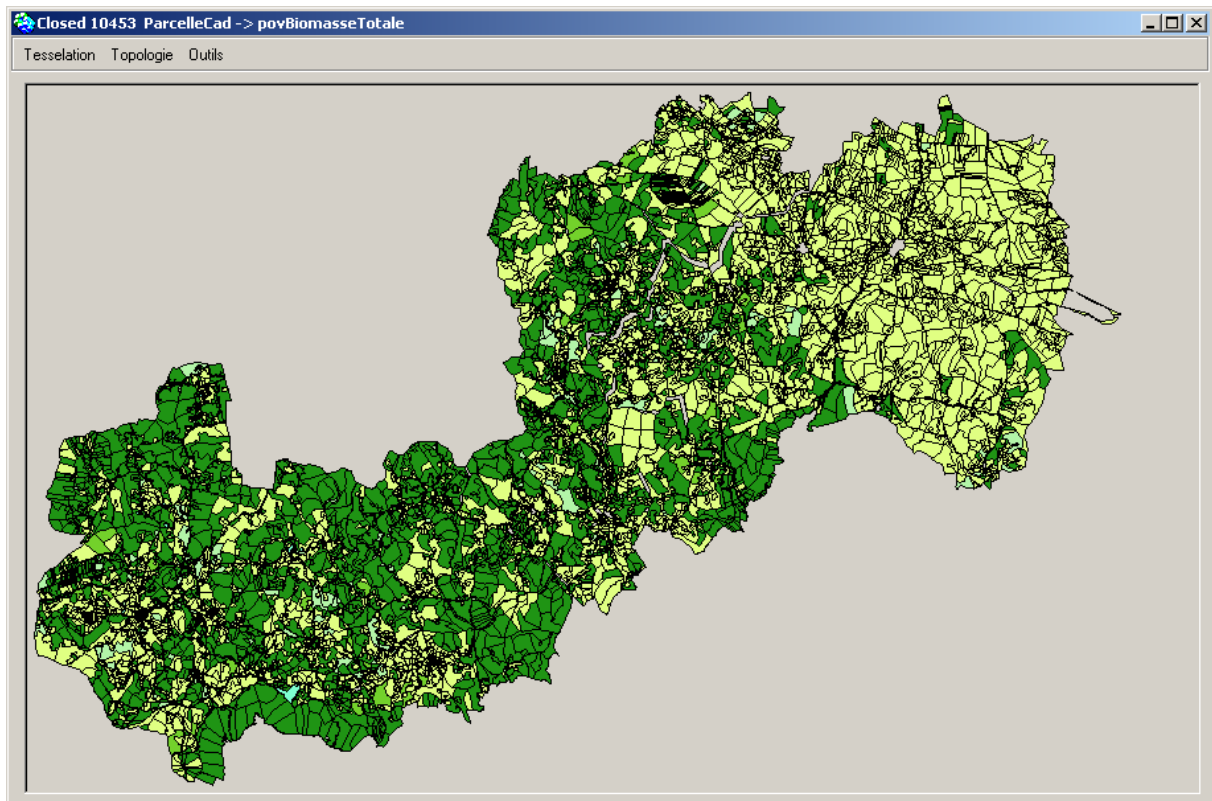
**Carte 15, Population/2 avec Préférence/ Prélèvement forts, mise en place à t=30
Situation à t= 100**



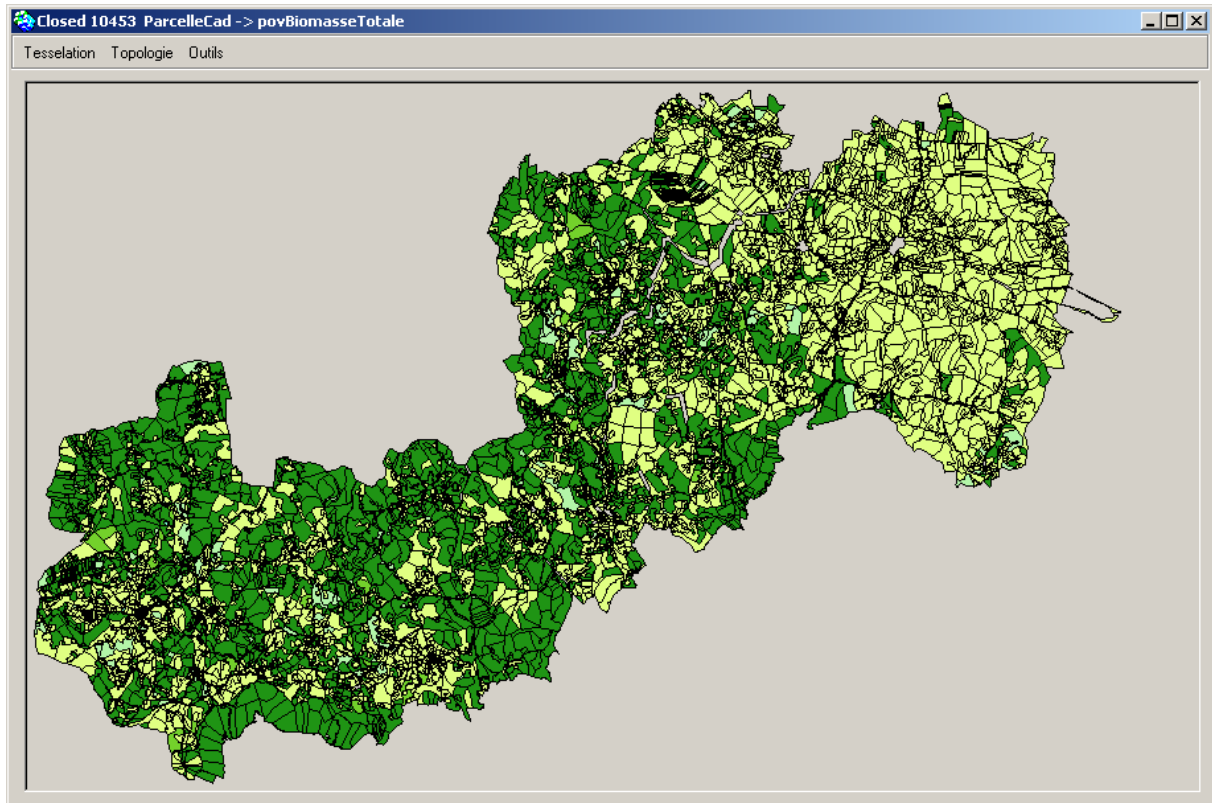
**Carte 16, Population/2, Pp forts prélèvements, mise en place à t=70,
Situation à t=100**



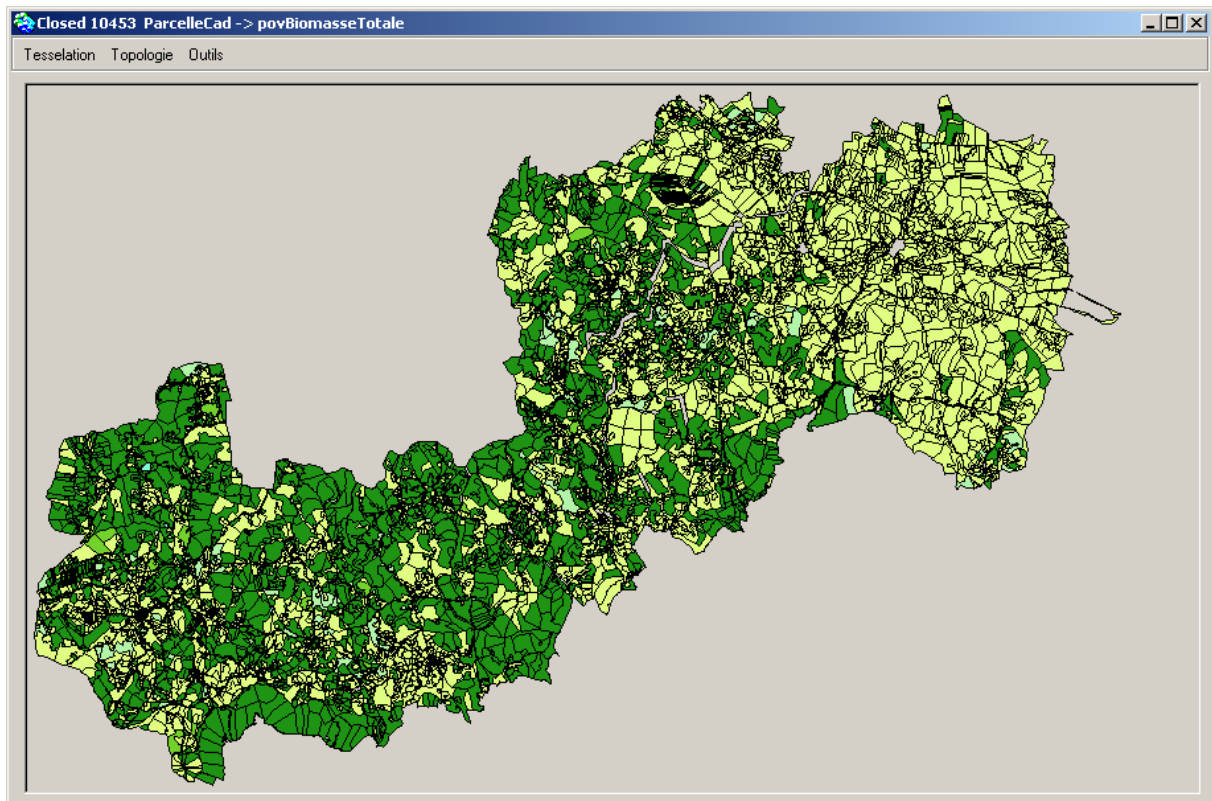
**Carte 17, Population/4, PP priorité aux forts prélèvements, mise en place à t= 70
Situation à t= 100**



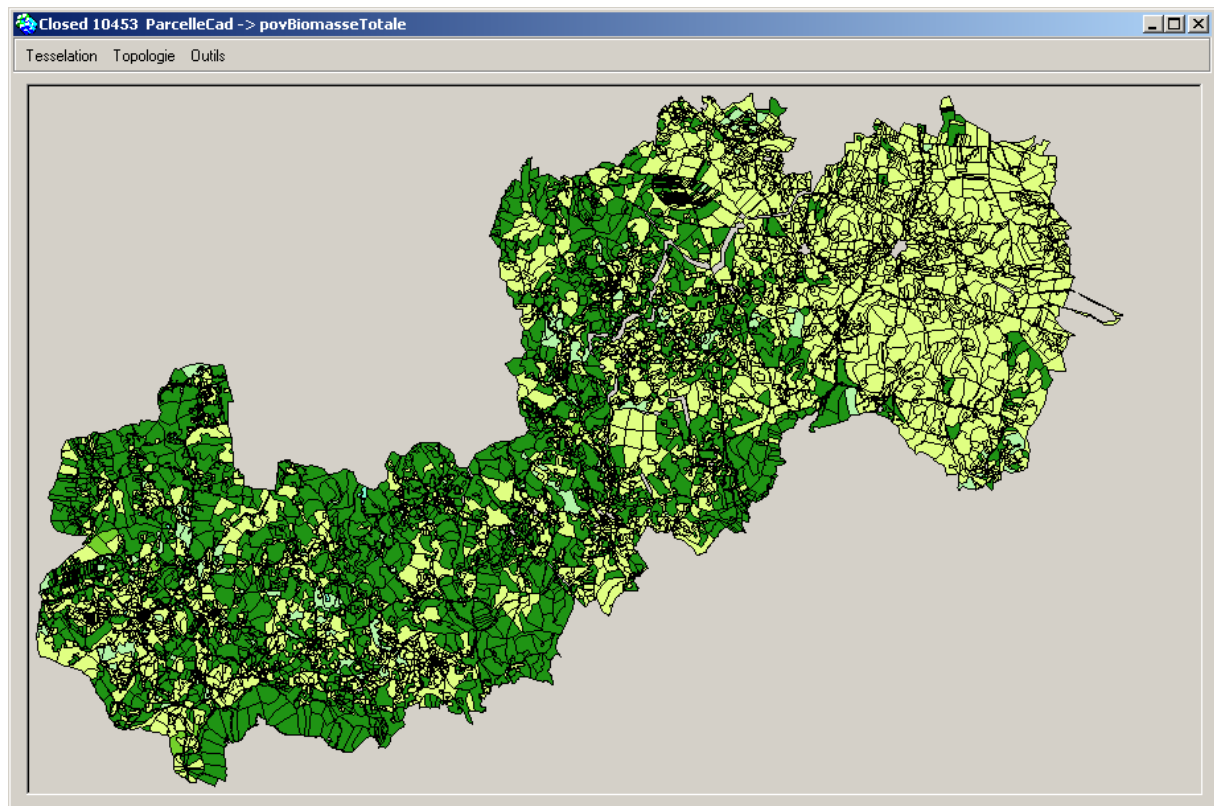
**Carte 18, Population/4, PP favorable aux forts prélèvements, mise en place à t=30,
Situation à t=100**



**Carte 19, Population /4, PP favorable aux forts prélèvements, mise en place dès le début
Situation à t= 100**



Carte 20, Population/4, PP favorables aux forts prélèvements, avec bascule de 10% des parcelles tous les 5 ans, Situation à t=100



6. Conclusion

Les résultats obtenus dans cette recherche sont de plusieurs ordres, méthodologiques et factuels. Ils ont tous un grand intérêt pour la recherche sur l'évaluation des effets externes des politiques publiques.

La perspective retenue dans cette modélisation est celle de la résilience du système écologique et social. L'état initial du paysage, faiblement et inégalement boisé, caractéristique des paysages du Causse à la fin du XIX^e siècle, constitue un équilibre instable, et tout déséquilibre introduit par un choc sur la population, ou sur la productivité du travail, lance un processus cumulatif de boisement et d'enfrichement, qu'il sera très difficile de contrer ultérieurement. Le système tend alors vers un équilibre plus stable, ou état absorbant, dominé globalement par les friches et les bois, et localement par un équilibre entre terres labourables et boisements. La transition écologique et paysagère, d'un côté, et la transition démographique d'un autre côté, sont évidemment en interaction, mais il n'est pas aisé de saisir les voies de cette interaction sans s'aider de la modélisation. En effet, la population consomme du bois pour ses besoins domestiques, et cela sur les parcelles les plus boisées, et sur les parcelles collectives. La diminution de population affecte donc le prélèvement global de biomasse de plusieurs manières, par abandon de l'exploitation de parcelles ou de hameaux entiers, d'une part, et par la modification des prélèvements par les animaux (l'effectif d'ovins étant globalement constant, c'est donc la modification de la gestion du pâturage qui est en cause). L'analyse empirique a montré que les abandons de hameaux ont eu lieu pour l'essentiel avant le début de la période de mise en place de la politique de modernisation agricole, et a fortiori, avant les infléchissements de la sélectivité de cette politique, mis en place en Lozère. A ce moment, c'est déjà presque la moitié de la population de la zone qui a migré. Et ce processus a été plus intense à l'ouest qu'à l'est du Causse, ce qui a renforcé la polarisation spatiale du paysage, entre causse boisé d'un côté, et causse nu à l'est. C'est donc dans un contexte écologique et démographique marqué par le recul du prélèvement et la diffusion de la friche et des bois que se mettent en place les politiques agricoles et forestières qui ont marqué la deuxième moitié du XX^e siècle. Or, pour l'essentiel, la politique forestière s'est traduite sur le Causse par un renforcement des boisements dans la partie orientale, alors que la politique agricole, fondée sur la sélectivité, renforçait le processus de diffusion des bois et broussailles sur l'ensemble du Causse.

Bien entendu ces résultats demandent à être validés plus systématiquement. Nous devons en particulier procéder à une étude de la sensibilité du modèle quand on change certains paramètres cruciaux comme le prélèvement domestique de bois, le taux de croissance de la végétation par zones, la répartition de la population non-pérenne dans les hameaux...

La modélisation elle-même devra être complétée au niveau des comportements des habitants, de manière à endogénéiser leur réponse à différentes incitations des politiques publiques.

Les résultats en terme de méthodologie de modélisation spatiale sont également importants.

Le modèle élaboré fonctionne, et permet de produire des résultats qui sont intelligibles pour les acteurs du terrain, car il utilise un support qui leur est familier, le fonds cadastral. Il reste à compléter, à tester systématiquement, et à développer en introduisant des comportements plus précis des agents.

L'organisation des interactions dans une hiérarchie spatiale repose sur la construction d'objets intermédiaires, dont la pertinence a été testée à plusieurs reprises, que nous avons

appelé les lieux-dits. Ces derniers sont constitués des hameaux habités, autour desquels nous avons reconstitué des territoires fonctionnels par la méthode des polygones de Thiessen. Ce sont les polygones de Thiessen qui définissent la structure spatiale du modèle, qualifiée de auréolaire-alvéolaire. Cette structure spatiale est sans doute de portée générale, dans les contextes de forte densité démographique, et en ce sens, le modèle élaboré est susceptible d'être utilisé dans d'autres contextes empiriques. La structure de modélisation offerte par la plate-forme de simulation multi-agents CORMAS, est parfaitement adaptée à ce genre de modélisation, car l'équipe GREEN du CIRAD, a depuis une décennie fait porter ses efforts sur ce type de problématique. Nous en avons bénéficié.

La modélisation orientée « Agents » nous a permis de coupler la dynamique de population et celle de la végétation à l'intérieur du modèle auréolaire-alvéolaire. Une telle structure de modélisation, utilisée ici avec un niveau élémentaire de modélisation des comportements individuels, nous permettra de tester ultérieurement une grande variété d'hypothèses micro-économiques.

En présence d'une grande complexité dans les dynamiques, nous avons choisi de tester dans un premier temps de tester le comportement du modèle fondé sur des hypothèses générales très simples, appelées scénarios. Les résultats obtenus nous permettent d'ores et déjà de disposer de grands points de repères pour organiser des investigations plus fines, fondées sur la modélisation plus précise des comportements individuels. Il apparaît en particulier que la nature des dynamiques en cause, les conditions initiales et les paramètres du modèle imposent à la dynamique globale du paysage des trajectoires dont les politiques publiques ont du mal à s'affranchir. Plus précisément, il est clair que les dynamiques de population pèsent très lourd dans la définition de ces trajectoires. Ce résultat nous donne une indication forte pour la poursuite de la recherche, et met d'emblée l'accent sur l'importance des politiques d'aménagement du territoire.

REFERENCES

- Beisson, C., J. Belvisi & F. Brau (2000). Recherche de méthodes pour la généralisation spatiale des lieux-dits: les Causses de Mejan et Sauveterre. Montpellier, INRA SAD et ESR: 22.
- Bertrand, C. G. B. (1999). Le géosystème: un espace-temps anthropisé. Esquisse d'une temporalité environnementale. Les temps de l'environnement. M. B.-P. G. Bertrand. Toulouse, Presse Universitaires du Mirail: 65:76.
- Bommel, P., Lardon, S. (2000). "Un simulateur pour explorer les interactions entre dynamiques de végétation et de pâturage. Impact des stratégies sur les configurations spatiales." Geomatique 1(1): 1-10.
- Brun, A., Chassany, J.P., Osty, P.L., Petit, F.E. (1979). "L'utilisation des terres peu productives : le Causse Méjan." Recherches économiques et sociales 15: 307-357.
- Carpenter, S., B.M. Walker, J.M. Anderies & N. Abel (2001). "From Metaphor to Measurement: resilience of what to what?" Ecosystems 4: 765:81.
- Chassany, J. P. (1989). "L'élevage ovin caussenard face aux marchés (1945-1985) : atouts et faiblesses actuels." Annales du Parc national des Cévennes, 4: 55-89.
- Chouquer, G. (2000). "Le parcellaire dans le temps et l'espace, Bref essai d'épistémologie." Etudes rurales(153-154): 39-57.
- Friedberg, C., M. Cohen, et al. (2000). "Faut-il qu'un paysage soit ouvert ou fermé ? L'exemple de la pelouse sèche du causse Méjan." Nature Sciences Sociétés, 4: 26-42.
- Hägerstrand, T. (1965). "Aspects of the spatial structure of social communication and the diffusion of information." Regional Science Association 41: 27-42.
- Henkes, L., A. Hofstetter & R. Lifran (2002). Atlas paysager du Causse de Sauveterre. Montpellier, INRA UMR LAMETA.
- Holling, C. S. (2001). "Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems [Review]." Ecosystems 4(5): 390-405.
- Lardon, S., & P.L. Osty (2000). Time-space dimensions of farmers' practices: methodological proposals from surveys and modelling of sheep farming. Case studies in Southern Massif central, France. Fourth European Symposium, European Farming and Rural Systems Research and Extension into the next Millenium, Vollos (Greece).
- Lardon, S., Bommel, P., Bousquet, F., Le Page, C., T. Libourel, Lifran, R., P.L. Osty (2000). "De la simulation de l'emroussaillement à un outil d'aide à la gestion de l'espace, un modèle des transformations de l'espace."
- Lepart, J., P. Marty, et al. (2000). "Les conceptions normatives du paysage. Le cas des grands causses." Natures Sciences Sociétés, 4: 16-25.
- Lifran, R. (2000). Contrôle d'un processus de diffusion spatialisé. INRA UMR LAMETA. Montpellier: 14 p.
- Marres, P. (1935). Les Grands Causses: étude de géographie physique et humaine. Tours, Arrault.
- Milne, T. B., A.R. Johnson, T.H. Keitt, C.A. Hatfield, J. David & P.T. Hrabert (1996). "Detection of Critical Densities associated with Piñon-Juniper Woodland Ecotones." Ecology 77(3): 805:821.
- Parker, D. C. (1999). Landscape Outcomes in a Model Edge-Effect. Externalities : A Computational Economics Approach.
- Perrings, C. B. W. (1997). "Biodiversity, resilience and the control of ecological-economic systems: the case of fire-driven rangelands." Ecological Economics 22: 73:83.

- Polhill J.G., N. M. G., A.N.R Law (2001). "Imitative versus nonimitative strategies in a land-use simulation." Cybernetics and systems: An International Journal **32**: 285-307.
- Post, V. I. W. (1997). "Méthodes de micro-simulation pour des projections de population." Population **4**: 889:932.
- Young, H. P. (1999). Diffusion in Social Networks: 25.

SIXIEME PARTIE :

CONCLUSION GENERALE

En conclusion, nous nous proposons de développer quelques points majeurs acquis au cours de la recherche. Nous présenterons tout d'abord les principales conclusions méthodologiques tirées de notre expérience, et susceptibles de servir de façon plus générale dans l'élaboration d'une méthode d'évaluation du paysage. Puis nous aborderons les enseignements principaux de notre recherche quand aux relations entre politiques publiques et dynamiques des paysages.

1. Méthodes d'évaluation du paysage

Si par méthode d'évaluation du paysage, on entend l'étude des perceptions du paysage par les différents usagers de ce bien public local, alors le résultat de notre projet confirme la difficulté de dégager un paysage unanimement préféré, y compris dans un espace aussi restreint que celui du Causse. La dimension identitaire du paysage est sensible dans de nombreux entretiens, et tend souvent à entériner les états de fait locaux. Cette dimension est renforcée par une dimension auto-justificatrice pour ceux qui sont les acteurs des transformations récentes : comment un agriculteur qui, directement ou indirectement, a contribué à boiser plusieurs centaines d'hectares dans la zone du causse nu pourrait-il se déjuger ? et comment des élus locaux, les organismes agricoles et les agriculteurs qui ont participé au partage et à l'aménagement des terrains sectionaux pourraient-ils trouver que leur action n'est pas légitime au regard de l'ouverture du paysage ? En fait, les transformations du paysage émanant beaucoup plus du jeu des intérêts que d'une réflexion collective sur le rôle du paysage dans le développement économique local, on assiste à une certaine uniformisation du paysage du causse, et à une perte d'originalité du causse de Sauveterre par rapport à d'autres zones de moyenne montagne. Cette perte d'originalité peut jouer négativement sur l'attrait des paysages caussenards pour les visiteurs de la région des Gorges du Tarn. Un prolongement de ce projet pourrait être une évaluation de type « expérimentation des choix », dans laquelle on proposerait aux habitants et aux touristes à la fois des scénarii de transformation, un véhicule de paiement et une institution gestionnaire de la politique choisie.

Si par méthode d'évaluation du paysage, on entend maintenant une évaluation objective de ses structures et de leur dynamique, alors, notre projet a contribué à mettre au point des méthodes originales, transposables dans d'autres situations.

Nous avons d'abord démontré l'intérêt de l'utilisation du fond cadastral pour reconstituer les dynamiques de végétation. Nous avons ensuite élaboré une méthode de traitement des transformations qui permet d'élaborer simplement, à l'aide d'un tableur et de coloriages, une typologie des dynamiques. Cette méthode synthétique suggérée par Bertin dans son ouvrage sur la sémiologie graphique, donne des résultats ayant un sens par rapport aux actions d'aménagement, et permet de dépasser les inconvénients de méthode plus analytiques telles les matrices de Markov (fondées sur les probabilités de transition d'un état à un autre). Il reste cependant à tester la robustesse des résultats aux erreurs de classement qui pourraient être faites au stade de la codification des dynamiques. Une approche économétrique ne nous a pas semblé nécessaire compte tenu du caractère massifs et évident des transformations du paysage.

La définition d'un cadre spatio-temporel ad hoc pour l'analyse des transformations du paysage, en interaction avec les dynamiques de la population est une étape décisive de l'évaluation, faute de laquelle on peut faire des erreurs énormes d'analyse. Nous décrirons ici les principaux apports de notre recherche sur ce point.

La méthode des chorèmes, utilisée ici au deux niveaux des exploitations et des hameaux, s'est révélée extrêmement efficace pour évaluer les facteurs sous-jacents aux dynamiques de la végétation, et notamment ceux relatifs à la diversité des stratégies de gestion des ressources fourragères et foncières par les éleveurs. La confirmation du rôle des lieux-dits comme niveau d'organisation et d'intégration des activités agricoles et forestières est aussi un des résultats majeurs de notre projet. Niveau intermédiaire entre la parcelle et la commune, il se prête à la modélisation (par la méthode des polygones de Thiessen), et fournit à la fois un cadre pertinent d'agrégation des données, efficace pour rendre compte des dynamiques du paysage, et pour effectuer des simulations. Il est de plus cohérent avec les niveaux de perception et d'action des habitants et des élus locaux, notamment car il correspond à un niveau de structuration d'une forme spécifique et ancienne de propriété collective : la propriété sectionale. Ceci nous amène à souligner l'importance du maintien de cette forme de propriété comme élément décisif d'une politique du paysage ⁶. Nous y reviendrons plus loin.

L'échelle de temps pertinente pour évaluer l'impact des politiques publiques sur la dynamique des paysages a été définie en partant d'une réflexion sur la résilience du système écologique et social. Une telle perspective oblige en effet le chercheur à définir quels sont les états pertinents de chacun des éléments du système (population, végétation et paysage). C'est à partir de ces états que se dégage ensuite logiquement l'échelle de temps qui permet de décrire les transitions entre différents états d'équilibre, ainsi que les principaux facteurs qui provoquent ces transitions. Ceci nous a conduit à élargir notre perspective temporelle, pour inclure dans l'analyse une période d'un siècle. Un tel élargissement nous permet de souligner l'importance des variables lentes et/ou retardées, dans la dynamique du paysage. Ainsi, les effets d'une politique donnée peuvent n'être perceptibles que 30 ou 40 ans après sa mise en œuvre. Il en est ainsi par exemple des politiques forestières ou de la politique démographique ou d'aménagement du territoire. Au plan méthodologique, ceci nous conduira à souligner l'écueil redoutable que constituent ces phénomènes pour le décideur public.

La modélisation des interactions entre activités humaines et dynamique du paysage à l'aide d'un système multi-agents spatialisés constitue un des apports méthodologiques les plus novateurs de la recherche. Elle a bénéficié de l'apport essentiel des recherches conduites au CIRAD, dans l'équipe GREEN, ainsi que dans le réseau sur les Systèmes Multi-Agents Spatialisés. L'apport spécifique de notre recherche dans ce domaine est à plusieurs niveaux.

Nous avons d'abord élaboré, sur la base des faits stylisés dégagés dans les travaux empiriques et les enquêtes de terrain, une hiérarchie spatiale originale, fondée sur la modélisation d'un niveau intermédiaire, les lieux-dits. Le résultat est un modèle auréolaire-alvéolaire. Nous avons ensuite identifié et modélisé les processus d'interactions Population-Végétation, en modélisant la dynamique de diffusion de la végétation selon un processus de percolation. Enfin, la dynamique de population a été modélisée par un processus simple, différenciant deux sous-populations, l'une pérenne et l'autre non-pérenne.

⁶ Elle a fait l'objet dans les dix dernières années de deux tentatives d'amendement, l'une à travers la Loi Montagne, et l'autre à travers la Loi d'orientation agricole. Il est significatif que les plus grandes difficultés soient venues de la définition des ayants-droits. Sur le terrain, la perte de population de la plupart des hameaux a conduit à confier la gestion des sections de commune aux conseils municipaux eux-mêmes.

2. Politiques publiques et paysages

Dans cette partie, nous souhaitons insister sur :

L'impact important des politiques publiques dédiées aux activités à forte composante spatiale, comparé aux faibles impacts des politiques publiques explicitement dédiées au paysage ou à l'environnement, au point que nous pouvons légitimement parler d'effet externe des politiques publiques ;

Le problème de la cohérence temporelle des politiques publiques.

L'importance d'une politique d'aménagement du territoire et de population ;

Les difficultés d'une coordination locale des politiques publiques orientées vers la gestion du paysage.

Les effets externes des politiques publiques agricoles et forestières sont importants :

à partir des années 60, l'objectif de parité entre les agriculteurs et les autres catégories sociales se décline en termes de sélectivité des aides publiques, et de ciblage d'une population agricole destinée à rester. Elle s'est déclinée en éliminant toutes formes d'organisation de l'activité agricole non conforme au modèle de l'exploitation professionnelle de plein exercice. parallèlement, dans le domaine forestier, la période d'après-guerre est marquée par le souci d'assurer l'autonomie de l'approvisionnement en bois. Le boisement des terres agricoles est encouragé par des subventions et des exonérations fiscales pour tenir compte de la longueur du retour sur investissement spécifique de l'investissement forestier. Un fond forestier national est créé. Il s'agit aussi d'utiliser la forêt comme instrument de protection des sols et de prévention des inondations. Après une période de test, et pour éviter les boisements en « timbre-poste », une politique plus sélective est également appliquée.

le corollaire de ces deux politiques en terme d'aménagement du territoire était l'abandon des terres considérées comme marginales pour l'agriculture moderne à la forêt, et la dépopulation consécutive était appréciée comme un phénomène économiquement souhaitable. C'est l'époque où des hameaux entiers basculent du côté de la forêt, par les effets conjugués des boisements naturels et des plantations subventionnées, privées ou sur des terrains collectifs ; des régions entières basculent à la forêt : Morvan, Limousin, Vosges...

en fait, elle s'est très vite révélée catastrophique et problématique pour les zones de montagne comme la Lozère. L'atténuation de la sélectivité des mesures nationales par la mise en place d'un programme de développement intégré n'a cependant pas permis d'enrayer complètement la dépopulation des hameaux, ni le développement d'un modèle d'exploitation à temps partiel comme dans les Alpes (Autriche, Suisse). Il est vrai qu'il aurait fallu un tissu industriel et une tradition artisanale qui n'existait pas en Lozère à cette époque.

La cohérence temporelle des politiques publiques en matière de transformations du paysage est une gageure à la fois scientifique et politique.

au plan politique, comment prendre en compte le fait que les préférences des citoyens en matière de destinations touristiques et de paysages sont éminemment instables, et soumises sur le long terme à des processus difficiles à prévoir ? Comment par exemple évaluer la dynamique des préférences pour les milieux ouverts ou pour les milieux forestiers ?

au plan scientifique, comment prévoir le paysage qui résultera de tel ou tel type de politique publique agissant sur des éléments du paysage, ou sur la population rurale ?

et finalement, comment le décideur public peut-il s'assurer de prendre aujourd'hui des décisions qui auront des impacts à long terme cohérents avec les préférences futures des citoyens ?

Nous en venons maintenant à notre troisième point, qui est la difficulté d'une coordination territoriale des politiques publiques.

En effet, bien que les communes soient impliquées dans la gestion des transformations du paysage, notamment à travers leur responsabilité dans les aménagements de la propriété sectionale, elles restent largement soumises à l'équilibre des intérêts agricoles et forestiers, qui, en eux-mêmes, ne sont pas porteurs d'une conception du paysage. Dans quelques cas cependant, les aménagements ont été réalisés en tenant compte d'autres intérêts ou usages (la chasse notamment). Il est certain que l'importance sociale de cette activité dans certains hameaux puissent expliquer l'état de la végétation, et le fait que l'embroussaillage soit vu positivement dans ces cas. La question qui se pose à ce stade est celle du poids politique des intérêts de l'économie du tourisme. A supposer qu'elle puisse dégager une conception du paysage recherché par les clients, serait-elle en mesure de trouver des alliés parmi autres catégories de la population pour la faire prévaloir ? Et comment les élus locaux pourraient-ils la mettre en œuvre ? Une politique paysagère au niveau du Causse impliquerait en effet une coordination intercommunale, traduite dans un zonage et dans des contraintes pour les propriétaires fonciers. Elle apparaît donc doublement problématique, d'une part parce que les institutions actuelles d'intercommunalité ont été mises en place pour des finalités liées à l'adduction d'eau et aux ordures ménagères, et que leur territoire ne recoupe pas spontanément les périmètres des unités paysagères potentielles, et d'autre part parce que le SIVOM à finalité paysagère existant a été mis en place dans une finalité défensive par rapport aux éventuelles contraintes imposées aux propriétaires fonciers par le classement des Gorges du Tarn.

Il n'en reste pas moins important de sauvegarder un des éléments qui s'est révélé stratégique dans les aménagements récents du paysage, à savoir la propriété sectionale.

Sur l'importance stratégique pour la planification locale du paysage du maintien de la propriété collective locale, notre argumentation porte sur trois points :

ces territoires souvent importants à l'échelle des hameaux, constituent une réserve foncière susceptible de fournir aux habitants et aux élus locaux une marge d'adaptation face à des événements imprévus, d'ordre démographique, financiers ou sociaux. Il est donc important de ne pas les aliéner, sous une forme ou sous une autre.

L'expérience de la gestion collective de ces terrains constitue désormais un savoir local commun aux habitants, qui peut être mobilisé pour d'autres finalités, notamment dans tout ce qui concerne la gestion collective de l'espace et son aménagement. Ce savoir comporte à la fois la conscience d'un nécessaire équilibre entre les intérêts des différents usagers, et la connaissance des moyens pour les concilier.

Enfin, il y a une troisième dimension éthique et politique à cette forme de propriété. Ceci est particulièrement sensible dans l'opposition entre les communes qui ont su trouver un équilibre entre l'agriculture et les autres usagers, et celles qui ne l'ont pas su, se trouvant de facto emportées dans des conflits sans fin, et nuisibles au plan de la gestion de l'espace.

Pour toutes ces raisons, il nous semble que le paysage continuera à refléter la diversité des intérêts et des contraintes propres aux activités locales, et qu'en corollaire, la dynamique du paysage du causse conduit presque inévitablement à une mosaïque paysagère combinant agriculture et forêt, en définitive très commune dans toutes les régions de moyenne montagne en Europe. Dans ce contexte, la préservation des paysages steppiques résiduels des grands causses exigerait un débat local approfondi, et sans doute des moyens considérables. Nous espérons par notre travail avoir construit les bases de ce débat, et c'est la raison pour laquelle nous avons associé les acteurs locaux tout au long de cette recherche. Qu'ils en soient tous remerciés.

Annexe 1. Publications réalisées dans le cadre du programme

L'ensemble de la problématique et des résultats fait l'objet d'une présentation dans le site suivant :

<http://www.ensam.inra.fr/ESR/paysages>

Belvisi, J., Beisson, C., Brau, F., 2000, Recherche de méthodes pour la généralisation spatiale des lieux-dits : les causses de Méjean et Sauveterre, Mastère SILAT, INRA-ENSAM, 22 p.

Belvisi, J., 2000, Création d'une base de données spatialisées sur le Causse de Sauveterre (Lozère), Application à la thématique paysagère, Mémoire de mastère SILAT, ENSAM INRA, 20 p., Annexes

Chapon, C., 2001, L'impact des aides publiques sur le paysage du Causse de Sauveterre, DEA, Université de Montpellier I, 85 pp. et Annexes

Deuffic, Ph., Dubourg, M., 2001, Les paysages du causse : des landes entre bois et désert, Qualifications paysagères du Causse de Sauveterre par les habitants de Laval du Tarn (Lozère), Bordeaux, CEMAGREF, 91 p.

Henkes, L.M., 2000, L'impact des mesures agri-environnementales sur le paysage, La fermeture des paysages sur le causse de Sauveterre, Mémoire de fin d'études, Université des sciences appliquées, Wiesbaden, 68 pp., Annexes et cartes

Henkes, L., A., Hofstetter, R., Lifran, 2002, Atlas paysager du Causse de Sauveterre, Montpellier, INRA, 44 p. (disponible sur CD rom)

Granier, L., 1999, Inventaire des instruments juridiques de protection du paysage, Mémoire CRIDEAU, Limoges, Faculté de Droit, 30 pp. et Annexes

Lecoq, F., 2000, Politiques publiques et dynamique des paysages au sud du Massif Central : le problème de la fermeture des paysages sur le causse de Sauveterre, Université de Montpellier III, Maitrise d'aménagement du Territoire, 100 p., Annexes

Rapey, H., V. Vilalta, et G. Brethière, 2002, Les propriétaires de foncier boisé sur le causse de Sauveterre : une mosaïque de situations peu sensible aux politiques forestières, Clermont Ferrand, CEMAGREF, Document de travail, 13p., Annexes

ANNEXE 2

Déroulement du projet

L'équipe prévue initialement a connu peu de modifications ⁷, ce qui a permis un vrai fonctionnement d'équipe, conforté par les séminaires successifs organisés sur le terrain .

Les relations avec les partenaires locaux ont été toujours très positives, et nous devons souligner l'attitude très coopérative de la DDA et de la SAFER. Les relations avec les maires ont été variables, et reflètent les contextes politiques locaux sur le sujet des sectionaux notamment. Nous avons organisé 2 séminaires de restitution au cours du projet. Il sont reçu chaque fois un accueil attentif, et ont suscité une demande pour renouveler ce genre de manifestation. Le tableau 1 en annexe donne une description détaillée de l'agenda du projet.

Le projet de recherche était initialement structuré autour de deux axes principaux :

Coordination d'acteurs et de politiques autour d'un objectif paysager

Modèles pour l'analyse des interactions entre dynamiques naturelles et pratiques de gestion

En cours de projet, nous avons décidé de construire une base de données dynamique sur la propriété, les exploitations agricoles et la végétation. Cette décision répondait au besoin d'un cadre empirique pour cadrer à la fois nos résultats de simulation et les données ponctuelles issues des enquêtes en exploitation. Elle constitue désormais une référence commune pour l'ensemble de l'équipe, et a permis tout à la fois de dégager des faits stylisés et de tester des hypothèses et de fournir des éléments pour initialiser et caler le modèle de simulation.

On trouvera ci-dessous la liste des participants au projets, par chantiers, et selon les trois axes définis ci-dessus :

1. Transformations de la propriété et des usages (1963-2000)

Chantier	Personnel titulaire	M. O. O	Stagiaires
Photointerprétation	R.Lifran	L.Henkes	
Base de données des lieux - dits	S. Lardon		J. Belvisi (mastère SILAT)
Base de données sur la dynamique de végétation et cartographie	R . Lifran, A. Hofstetter		

⁷ En dehors du départ de Nils Ferrand , qui a quitté le CEMAGREF, et de l'arrivée de P .Bommel, recruté au CIRAD TERA, qui a pris en charge le travail de modélisation SMA .

2. Coordination d'acteurs et de politiques autour d'un objectif paysager

Chantier	Personnel titulaire	M. O. O	Stagiaires
Transformations de la propriété sectionale	M . Antona R . Lifran		L. Garnier F. Lecoq
Structure de la propriété forestière	H. Rapey		V. Vilalta
Modèles d'appréciation paysagère	P. Deuffic		M. Dubourg
Bilan des politiques publiques	G. Miclet J.P. Chassany	C. Chapon	C. Chapon L. Henkes

3. Modèles pour l'analyse des transformations du paysage

Chantier	Personnel titulaire	M. O. O	Stagiaires
Analyse et modélisation spatiale	S. Lardon, P.L. Osty	M. Naïtlho	M. Capitaine
Modélisation et simulation SMA	P.Bommel, A.Hofstetter, R. Lifran		

Tableau 1 Déroulement et Principaux événements